



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria  
de Manresa



## Treball Final de Grau

# ***NEXE AIGUA-ENERGIA: Des del naixement del Llobregat fins a Manresa***

---

**Grau en Enginyeria Química**

**Curs 15/16**

**Autor:** Kelly Prieto Márquez

**Director:** Dolors Grau Vilalta

**Data:** 8 de juliol de 2016

**Localitat:** Manresa



## RESUM DEL PROJECTE

En aquest projecte s'estudiarà el nexe aigua-energia en un tram del riu Llobregat, des de Castellar de N'hug fins a Manresa. Per aquest motiu es determina la quantitat d'energia que necessiten les estacions potabilitzadores i les estacions depuradores per adequar l'aigua del riu en aquest tram, a més de trobar la quantitat d'energia que generen les centrals mini-hidroelèctriques en el mateix tram. Aquests dos valors d'energia finals seran comparats per tal de demostrar si es consumeix més energia que la que es genera o al contrari.

En la primera part del projecte s'estudien diferents conceptes del nexe aigua-energia, dels quals, molts d'ells ens permetran entendre millor el cas d'estudi. En aquesta primera part s'estudiarà la necessitat d'aigua per a la producció d'energia, en diferents formes d'energia, però donant èmfasi a la generació d'energia a partir de les centrals hidroelèctriques. Així mateix, la necessitat d'energia per la depuració i condicionament de l'aigua, on ens basarem en els processos de depuració i potabilització de l'aigua.

En aquesta mateixa part, també s'estudiarà el tipus d'energia que conté l'aigua, i es mostraran exemples de la quantitat d'energia que aquesta podria contenir. D'altra banda, també s'estudiarà l'energia continguda en el cas particular de l'aigua residual.

En el cas d'estudi s'estudiarà les tendències de consums energètics de les EDAR, així com de les ETAP, i s'intentarà trobar una relació entre el cabal d'aigua tractat i el consum energètic en ambdós casos. Es farà comparativa entre el consum energètic de les EDAR i de les ETAP per saber si aquest és comparable o en canvi, si les EDAR consumeixen més, tal i com es preveu.

La producció d'energia en aquest tram del riu Llobregat el basarem en la generació d'energia de les centrals mini-hidroelèctriques, o sigui, aquelles centrals hidroelèctriques que tenen una potència instal·lada d'entre 100 i 1.000 kW. Només considerem les centrals mini-hidroelèctriques, ja que són majoritàriament aquest tipus de centrals els que trobem en el tram del riu Llobregat estudiat. A més, s'estudiarà la utilització d'aigua que realitzen aquestes centrals.

Un paràmetre clau que apareixerà constantment en el cas d'estudi és l'anomenat ratio, amb unitats kWh/m<sup>3</sup>. Aquest coeficient és el que dicta la quantitat d'energia produïda o consumida per unitat de volum d'aigua. És el coeficient que representa el nexe aigua-energia. Observant els ratios de les EDAR i ETAP sabrem si consumeixen molta o poca energia per quantitat d'aigua tractada. En canvi, observant el ratio de les centrals mini-hidroelèctriques podrem concloure si aquestes necessiten molta o poca quantitat d'aigua per a generar energia.

## RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto dónde se estudiará el nexo agua-energía en el tramo del río Llobregat, des de Castellar de N'hug hasta Manresa. Por este motivo se determina un valor de la cantidad de energía que necesitan las estaciones potabilizadoras y las estaciones depuradoras para adecuar el agua del río en este tramo, además de encontrar la cantidad de energía que generan las centrales mini-hidroeléctricas en el mismo tramo. Estos dos valores de energía finales serán comparados para demostrar si se consume más energía que la que se genera, o al contrario.

En la primera parte del proyecto se estudiarán diferentes conceptos del nexo agua-energía, los cuales, muchos de ellos nos permitirán entender mejor el estudio realizado. En esta primera parte se estudiará la necesidad de agua para la producción de energía, en diferentes formas de energía, pero dando énfasis en la generación de energía a partir de las centrales hidroeléctricas. Así mismo, la necesidad de energía para la depuración y el acondicionamiento del agua, dónde nos basaremos en los procesos de depuración y potabilización del agua.

En esta misma parte del proyecto, también se estudiará el tipo de energía que contiene el agua, el tipo de energía que contiene y ejemplos de la cantidad de energía que ésta podría contener. Por otro lado, también se estudiará la energía contenida en el caso particular del agua residual, además quedarán reflejados diversos ejemplos de recuperación de ésta.

En el caso de estudio se estudiarán las tendencias de consumos energéticos de las EDAR, así como de las ETAP, y se intentará encontrar una relación entre el caudal de agua tratado y el consumo energético en ambos casos. Se hará una comparativa entre el consumo energético de las EDAR y el de las ETAP para saber si este es comparable o en cambio, si las EDAR consumen más, tal i como se prevé.

La producción de energía en este tramo del río Llobregat lo basaremos en la generación de energía de las centrales mini-hidroeléctricas, ósea, aquellas centrales hidroeléctricas que tienen una potencia instalada de entre 100 i 1.000 kW. Sólo consideramos las centrales mini-hidroeléctricas, ya que son mayoritariamente este tipo de centrales el que encontramos en el tramo del río Llobregat estudiado. Además se estudiará la utilización del agua que realizan estas centrales.

Un parámetro clave que aparecerá constantemente en el constantemente en el estudio es el denominado ratio, con unidades  $\text{kWh/m}^3$ . Este coeficiente es el que dicta la cantidad de energía producida o consumida por unidad de volumen de agua. Es el coeficiente que representa el nexo agua-energía. Observando los ratios de las EDAR y las ETAP sabremos si estas consumen mucha o poca energía por cantidad de agua tratada. En cambio, observando el ratio de las centrales mini-hidroeléctricas podremos concluir si éstas necesitan poca o mucha cantidad de agua para generar energía.



## ABSTRACT OF THE PROJECT

In this project it is going to be studied the nexus water-energy in the stretch of the Llobregat river, from Castellar de N'hug to Manresa. For this reason, it is determined a value of the quantity of energy that wastewater treatment plants and water purification plants need to adapt the river's water in this stretch as well as to find the quantity of energy that mini hydro-electric plants produce in the same stretch. These two final values of energy are going to be compared in order to prove if more energy is consumed than is generated, or on the contrary.

In the first part of the project there are going to be studied different concepts of the nexus water-energy, which many of them will allow us to understand in a better way the study that has been carried out. In this first part, it will be studied the need of water for the energy production in different ways of energy, but giving emphasis in the production of energy based on the hydro-electric plants. Furthermore, the need of energy for the purification and reconditioning of the water based on the processes of purification and sewage treatments.

In this same part of the project, it will also be studied the type of energy the water contains, and there will be shown some examples of the quantity of energy that this could contain. On the other hand, it will be studied the energy contained in the particular case of the sewage, too.

In the study case there will be studied the tendencies of energy consumptions from wastewater treatment plants and the water purification plants, and it will be attempted to find out a relation between the volume of treated water and the energy consumption in both cases. It will be done a comparison between the energy consumption of the wastewater treatment plants and the water purification plants in order to know if this is comparable or if the wastewater treatment plants consume more, just like it is expected.

The production of energy in this stretch of the Llobregat river will be based on the generation of energy from the mini hydro-electric centrals, which are those that have a installed power of between 100 and 1.000kW. Only mini hydro-electric centrals will be considered since the majority of kind of centrals we regularly find in this stretch are these. Moreover, it will be studied the utilization of water these centrals carry out.

A key parameter which will appear constantly in the study case is the called ratio, with unit kWh/m<sup>3</sup>. This coefficient is the one that dictates the quantity of produced or consumed energy per unit of volume of water. It is the coefficient that represents the nexus water-energy. Analyzing the ratios from the wastewater treatment plants and the purification water plants we will be able to know if they consume much or few energy per quantity of treated water. On the other hand, looking at the ratio from the mini hydro-electric centrals we will be able to conclude if these need a lot of quantity of water to generate energy or not.

## AGRAÏMENTS

S'ha d'agrair la participació de diferents entitats que ens han proporcionat dades indispensables sense les quals aquest projecte no s'hagués dut a terme.

Agrair al Francesc Selga per proporcionar dades sobre les centrals hidroelèctriques instal·lades al llarg del riu Llobregat. Aquesta informació va ser complementada amb dades que va proporcionar l'ICAEN a través de la seva pàgina web, entitat que també mereix el nostre reconeixement.

També agrair la participació de Aigües Manresa S.A, que va proporcionar els ratios i els cabals reals d'aigua residual tractada de diverses EDAR, a més del cabal real d'aigua tractada de l'ETAP de Manresa.

Les dades reals de cabals d'aigua residual i consums energètics de les EDAR de la comarca del Berguedà, a més de les dades de consum energètic real de 3 ETAP, van ser proporcionades per el Consell Comarcal del Berguedà, entitat que també s'ha d'agrair la seva participació.

Les especificacions tècniques de les EDAR van ser proporcionades la pàgina oficial de l'Agència Catalana d'Aigua (ACA), entitat que ha participat fortament en aquest projecte proporcionant diversa informació molt útil per a la realització d'aquest. Conseqüentment, s'ha d'agrair la seva participació.

Àmpliament agraïda al professor d'enginyeria elèctrica Joan Bergas que ens va proporcionar l'estudi *Aprofitament de salts fluvials per a l'obtenció d'energia elèctrica a Catalunya* que ens va permetre calcular el % de capacitat a les que treballaven les centrals mini-hidroelèctriques del nostre estudi.

A més, aquest projecte no s'hauria pogut realitzar sense la participació, la correcció i els coneixements de la tutora del projecte Dolors Grau Vilalta.

## Índex

1.	INTRODUCCIÓ.....	20
1.1	Objectius .....	20
2.	NEXE AIGUA-ENERGIA.....	21
2.1	Problemàtica dels ecosistemes .....	22
2.1.1	Impacte de les centrals hidroelèctriques .....	23
2.1.2	Impacte de la generació de Biofuels .....	23
2.1.3	Impacte del petroli, carbó i gas natural. ....	24
2.1.4	Impacte de les centrals termoelèctriques.....	24
2.2	Recerca de sinergies.....	25
2.2.1	Eficiència en l'agricultura.[ pro aigua i pro energia] .....	25
2.2.2	Conservació d'aigua [pro-aigua].....	26
2.2.3	Eficiència a la indústria [ pro aigua i energia] .....	27
2.2.4	Eficiència en centrals termoelèctriques [Pro-aigua i energia] .....	29
2.2.5	Generació d'energia elèctrica amb fonts renovables [ Pro-aigua].....	30
2.3	Energia per l'aigua : Energia consumida en el tractament de l'aigua .....	30
2.3.1	Tractament d'aigua potable .....	30
2.3.2	Tractament d'aigua residual.....	35
2.4	Energia de l'aigua .....	45
2.4.1	Energia cinètica .....	45
2.4.2	Energia potencial.....	46
2.4.3	Energia tèrmica .....	46
2.4.4	Energia química .....	48
2.4.5	Càlcul de l'energia continguda en l'aigua residual.....	49
2.5	El nexe aigua-energia en el cas de l'aigua residual. ....	50
2.5.1	Energia continguda en l'aigua residual .....	51
2.5.2	Exemples de recuperació d'energia de l'aigua residual.....	53
2.6	Aigua per energia : Aigua consumida per a la generació d'energia.....	60
2.6.1	Utilització de l'aigua a la indústria .....	60
2.6.2	Utilització de l'aigua en la producció d'energia .....	61
2.6.3	Centrals hidroelèctriques .....	63
2.6.3.1	Energia hidroelèctrica .....	64
2.6.3.2	Funcionament de les centrals hidroelèctriques.....	65
2.6.3.3	Consum d'aigua de les centrals hidroelèctriques .....	67

2.6.3.4	Centrals mini-hidroelèctriques.....	68
2.6.3.5	Impacte ambiental de les centrals mini-hidroelèctriques .....	76
2.6.4	Centrals termoelèctriques.....	77
2.6.4.1	Procés de generació d'energia en les centrals termoelèctriques .....	78
2.6.5	Xarxes de calor centralitzada (biomassa).....	87
3.	CAS D'ESTUDI .....	90
3.1	Descripció de la Conca del riu Llobregat .....	90
3.1.1	Cabal del riu Llobregat .....	101
3.1.2	Cicle hidrològic de les conques de Catalunya .....	105
3.1.3	Pluviometria de les conques .....	105
3.1.4	L'evapotranspiració de les conques .....	107
3.1.5	Consum d'aigua del Llobregat.....	109
3.1.6	Aportació hídrica del Llobregat .....	110
3.1.7	Paràmetres de la massa d'aigua de la Conca del Llobregat. ....	111
3.1.8	Les fàbriques del riu Llobregat (història).....	113
3.2	Aprofitament energètic del riu Llobregat .....	117
3.2.1	Centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat .....	117
3.2.2	Producció d'energia de les centrals mini-hidroelèctriques.....	120
3.2.3	Utilització de l'aigua per les centrals mini-hidroelèctriques.....	126
3.3	Estacions d'aigua residual .....	130
3.3.1	Tipus d'EDAR del Riu Llobregat .....	130
3.3.2	Tipus de tractament aplicats a les EDAR del cas d'estudi .....	133
3.3.3	Anys de posada en marxa de les EDAR del cas d'estudi .....	135
3.3.4	Comparativa de les EDAR del cas d'estudi .....	140
3.3.5	Energia consumida per EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats.....	144
3.3.6	Energia consumida per EDAR que utilitzen la tècnica de filtres percoladors ...	165
3.3.7	Energia consumida per EDAR que utilitzen la tècnica de biodisc .....	170
3.3.8	Energia total consumida per les EDAR del cas d'estudi .....	173
3.3.9	Capacitat de les EDAR del cas d'estudi.....	173
3.4	Estacions d'aigua potable.....	177
3.4.1	Consum energètic de les ETAP .....	177
3.4.2	Comparativa entre les EDAR i les ETAP .....	185
3.4.3	Consum d'aigua de les ETAP .....	187
3.4.4	Energia total consumida ETAP cas d'estudi.....	189

4.	RESULTATS.....	190
5.	CONCUSIONS.....	194
6.	REFERÈNCIES .....	196
7.	ANNEXES.....	
	ANNEX A Eines utilitzades: DADES EMBASSAMENTS I CABAL DEL RIU LLOBREGAT.....	
	ANNEX B Eines utilitzades: PARÀMETRES DE LA MASSA D'AIGUA DE LA CONCA DEL LLOBREGAT.....	
	ANNEX C Eines utilitzades: CENTRALS HIDROELÈCTRIQUES.....	
	ANNEX D Taula centrals hidroelèctriques del riu Llobregat.....	
	ANNEX E Eines utilitzades: ESTACIONS DEPURADORES.....	
	ANNEX F Eines utilitzades: MAPES APARTAT 3.1.....	
	ANNEX G Taula 3.20.....	
	ANNEX H Fitxes tècniques de les EDAR.....	

## ÍNDIX FIGURES

### -----Figures apartat 2-----

<b>Figura 2.1</b> Nexe aigua-energia .....	21
<b>Figura 2.2</b> Escassetat d'aigua en el món.....	22
<b>Figura 2.3</b> Retorn d'aigua al riu pel condensador .....	24
<b>Figura 2.4</b> Esquema del recorregut de l'aigua en una indústria.....	28
<b>Figura 2.5</b> Esquema de les etapes d'una ETAP.....	30
<b>Figura 2.6</b> Esquema del procés de decantació.....	32
<b>Figura 2.7</b> Fotografia dels decantadors de l'ETAP de Manresa.....	33
<b>Figura 2.8</b> Tanc de filtració.....	33
<b>Figura 2.9</b> Fotografia dels tancs de filtració de l'ETAP de Manresa.....	34
<b>Figura 2.10</b> Tancs de clor gas de l'ETAP de Manresa.....	35
<b>Figura 2.11</b> Etapes del procés de tractament d'aigua residual).....	36
<b>Figura 2.12</b> Tamís rotatiu .....	37
<b>Figura 2.13</b> Tamís estàtic.....	37
<b>Figura 2.14</b> Decantador circular.....	38
<b>Figura 2.15</b> Decantador primari de l'EDAR de Manresa.....	39
<b>Figura 2.16</b> Decantador primari buit de l'EDAR de Manresa.....	39
<b>Figura 2.17</b> Esquema del tractament de fangs activats.....	41
<b>Figura 2.18</b> Sedimentador secundari de l'EDAR de Manresa.....	41
<b>Figura 2.19</b> Filtre percolador .....	42
<b>Figura 2.20</b> Biodisc.....	43
<b>Figura 2.21</b> Potència necessària per unitat de tractament.....	43
<b>Figura 2.22</b> Esquema etapes del procés de tractament d'aigües residuals amb la implantació d'un digester anaeròbic.....	44
<b>Figura 2.23</b> Esquema de l'energia continguda en un tipus concret d'aigua.....	50
<b>Figura 2.24</b> Energia aconseguida a partir de l'aigua residual a una EDAR concreta.....	52
<b>Figura 2.25</b> Planta de tractament i recuperació de Llots de Hong Kong.....	54

<b>Figura 2.26</b> Mapa de la situació de l'EDAR i de la centrals mini-hidroelèctrica.....	55
<b>Figura 2.27</b> Intercanviador de calor de carcassa i tub.....	59
<b>Figura 2.28</b> Energia generada per recursos naturals en EU.....	63
<b>Figura 2.29</b> Electricitat generada a partir de fonts renovables a EU.....	64
<b>Figura 2.30</b> Evolució de la utilització de les energies renovables a EU.....	65
<b>Figura 2.31</b> Potències instal·lades de centrals mini-hidroelèctriques per comarques.....	69
<b>Figura 2.32</b> Esquema d'una central d'aigua fluent.....	69
<b>Figura 2.33</b> Fotografia de la resclosa de la central Cal Bassacs.....	71
<b>Figura 2.34</b> Entrada al canal de la centrals de Cal Bassacs.....	71
<b>Figura 2.35</b> Canal d'aigua de la central Cal Bassacs.....	71
<b>Figura 2.36</b> Desbast de la central de Can Bassacs.....	72
<b>Figura 2.37</b> Turbina de la central de Cal Bassacs.....	72
<b>Figura 2.38</b> Alternador de la central de Cal Bassacs.....	72
<b>Figura 2.39</b> Esquema d'una central de peu de pressa.....	73
<b>Figura 2.40</b> Salt d'aigua central Clot del Moro.....	73
<b>Figura 2.41.</b> Canonada de la central Clot de Moro.....	73
<b>Figura 2.42</b> Entrada de la canonada a la central Clot de Moro.....	74
<b>Figura 2.43</b> Turbina i alternador de la central de Clot de Moro.....	74
<b>Figura 2.44</b> Turbina i alternador de la central de Clot de oro.....	74
<b>Figura 2.45</b> Esquema d'equipament habitual en les central hidroelèctriques.....	76
<b>Figura 2.46</b> Figura resum dels impactes ambientals de cada forma de generació d'energia.....	77
<b>Figura 2.47</b> Esquema del procés de generació d'energia elèctrica de les centrals termoelèctriques .....	78
<b>Figura 2.48</b> Esquema del circuit obert de les centrals termoelèctriques .....	80
<b>Figura 2.49</b> Esquema del circuit tancat de les centrals termoelèctriques.....	81
<b>Figura 2.50</b> Esquema de les torres de refrigeració de tir natural.....	82
<b>Figura 2.51</b> Esquema de les torres de refrigeració de tir contracorrent.....	83
<b>Figura 2.52</b> Esquema de les torres de refrigeració de tir forçat.....	83

<b>Figura 2.53</b> Esquema de les torres de refrigeració de tir creuat.....	84
<b>Figura 2.54</b> Central de biomassa i xarxa de distribució.....	88
<b>Figura 2.55</b> Caldera de Biomassa.....	88
<b>Figura 2.56</b> Consum d'energia primària amb renovables any 2020.....	89
<b>-----Figures apartat 3 -----</b>	
<b>Figura 3.1</b> Conques internes de Catalunya.....	90
<b>Figura 3.2</b> Conca del Llobregat.....	91
<b>Figura 3.3</b> Comarques de la conca del Llobregat.....	92
<b>Figura 3.4</b> Mapa de Castellar de N'hug.....	93
<b>Figura 3.5</b> Mapa de l'embassament de Baells.....	93
<b>Figura 3.6</b> Informació sobre l'embassament de Baells.....	94
<b>Figura 3.7</b> Fotografia de l'embassament de Baells.....	94
<b>Figura 3.8</b> Mapa de l'embassament de la Llosa del Cavall.....	95
<b>Figura 3.9</b> Informació sobre l'embassament de la Llosa del Cavall.....	95
<b>Figura 3.10</b> Mapa embassament de Sant Ponç.....	96
<b>Figura 3.11</b> Informació sobre l'embassament de Sant Ponç.....	96
<b>Figura 3.12</b> Capacitat dels pantans de Catalunya.....	97
<b>Figura 3.13</b> Mapa de la unió entre el riu Cardener i el riu Llobregat.....	98
<b>Figura 3.14</b> Mapa de la unió entre el riu Cardener i el riu Llobregat.....	98
<b>Figura 3.15</b> Mapa de la unió entre el riu Llobregat el riu Anoia.....	99
<b>Figura 3.16</b> Mapa de la unió entre el riu Llobregat el riu Anoia.....	99
<b>Figura 3.17</b> Mapa de la desembocadura del riu Llobregat.....	100



<b>Figura 3.18</b> Mapa de les estacions de control instal·lades en Catalunya.....	101
<b>Figura 3.19</b> Recull de dades de l'estació de control de Guardiola de Berguedà.....	102
<b>Figura 3.20</b> Recull de dades de l'estació de control de Berga (Olvan).....	102
<b>Figura 3.21</b> Recull de dades de l'estació de control de Sallent.....	103
<b>Figura 3.22</b> Recull de dades de l'estació de control de Castellbell i el Vilar.....	103
<b>Figura 3.23</b> Recull de dades de l'estació de control de Sant Joan Despí.....	104
<b>Figura 3.24</b> Cicle hidrològic de les conques de Catalunya.....	105
<b>Figura 3.25</b> Pluviometria de les conques de Catalunya.....	106
<b>Figura 3.26</b> Precipitació de les conques.....	107
<b>Figura 3.27</b> Evapotranspiració de les conques.....	108
<b>Figura 3.28</b> Usos de l'aigua a Catalunya.....	109
<b>Figura 3.29</b> Aportació hídriques de les conques de Catalunya.....	110
<b>Figura 3.30</b> Estat químic de l'aigua del riu Llobregat.....	111
<b>Figura 3.31</b> Qualitat biològica de l'aigua del riu Llobregat.....	111
<b>Figura 3.32</b> Qualitat fisicoquímica de l'aigua del riu Llobregat.....	112
<b>Figura 3.33</b> Estat general de l'aigua del riu Llobregat.....	112
<b>Figura 3.34</b> Fàbriques instal·lades en la conca del riu Llobregat.....	114
<b>Figura 3.35</b> Colònies tèxtils instal·lades en la conca del Llobregat.....	115
<b>Figura 3.36</b> Energia produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del Berguedà.....	125
<b>Figura 3.37</b> Energia produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del Bages.....	126
<b>Figura 3.38</b> Energia i cabal de les centrals mini-hidroelèctriques del Berguedà.....	128
<b>Figura 3.39</b> Energia i cabal diari de les centrals mini-hidroelèctriques del Bages.....	129
<b>Figura 3.40</b> Tipus de tractaments utilitzats per les EDAR del cas d'estudi.....	134
<b>Figura 3.41</b> Tipus de tractament secundari utilitzats per les EDAR del cas d'estudi.....	134
<b>Figura 3.42</b> Any de posada en marxa de les EDAR del cas d'estudi.....	136
<b>Figura 3.43</b> Anys de posada en marxa de les EDAR del cas d'estudi.....	136
<b>Figura 3.44</b> Zones sensibles de Catalunya.....	137

<b>Figura 3.45</b> Anys de posada en marxa de les EDAR segons el compliment la norma: Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96).....	139
<b>Figura 3.46</b> Rendiment de separació de $\text{DBO}_5$ de l'EDAR de Bagà/Guardiola.....	142
<b>Figura 3.47</b> Rendiment de separació de $\text{DBO}_5$ de l'EDAR de Balsareny .....	143
<b>Figura 3.48</b> Rendiment de separació de $\text{DBO}_5$ de l'EDAR de Manresa.....	143
<b>Figura 3.49</b> Consum energètic real de l'EDAR de Manresa.....	145
<b>Figura 3.50</b> Consum energètic i cabal tractat de les EDAR les quals disposem de dades reals.....	150
<b>Figura 3.51</b> Relació cabal/Energia consumida de les EDAR les quals disposem dades reals (ajust lineal).....	151
<b>Figura 3.52</b> Relació cabal/Energia consumida de les EDAR les quals disposem dades reals (ajust exponencial).....	152
<b>Figura 3.53</b> Relació ratio/cabal tractat de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (ajust lineal).....	157
<b>Figura 3.54</b> Relació ratio/cabal tractat de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (ajust exponencial).....	158
<b>Figura 3.55</b> Relació ratio/cabal tractat de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (ajust exponencial amb extracció d'algunes EDAR).....	159
<b>Figura 3.56</b> Consum energètic de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (Berguedà).....	161
<b>Figura 3.57</b> Consum energètic de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (Bages).....	161
<b>Figura 3.58</b> Energia consumida per totes les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi.....	163
<b>Figura 3.59</b> Energia consumida i cabal tractat per totes les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi.....	164
<b>Figura 3.60</b> Cabal i Energia consumida per les EDAR del cas d'estudi que utilitzen filtres percoladors.....	168
<b>Figura 3.61</b> Cabal i energia consumida de les EDAR que utilitzen la tècnica de Biodisc del cas d'estudi.....	172
<b>Figura 3.62</b> Relació entre el consum energètic i el cabal d'aigua tractat de les ETAP del cas d'estudi.....	183
<b>Figura 3.63</b> Cabal d'aigua tractada de les ETAP del cas d'estudi.....	184
<b>Figura 3.64</b> Consum energètic de les ETAP del cas d'estudi.....	184

**Figura 3.65** Comparativa entre l'energia consumida i cabal tractat entre l'ETAP i l'EDAR de Sallent.....186

**Figura 3.66** Comparativa entre l'energia consumida i el cabal tractat de l'EDAR i l'ETAP de Balsareny.....187

-----**Figures apartat 4** -----

**Figura 4.1** Energia consumida i generada en el cas A.....191

**Figura 4.2** Energia consumida i generada en el cas B.....192

## ÍNDEX TAULES

### -----Taules apartat 2-----

<b>Taula 2.1</b> Impacte de cada forma d'energia.....	23
<b>Taula 2.2</b> Classificació de les centrals hidroelèctriques segons la pressió del salt.....	67
<b>Taula 2.3</b> Classificació de les centrals hidroelèctriques segons com discorre l'aigua).....	67
<b>Taula 2.4</b> Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit obert.....	80
<b>Taula 2.5</b> Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit tancat.....	81
<b>Taula 2.6</b> Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit tancat i refrigeració seca.....	84
<b>Taula 2.7</b> Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit tancat i refrigeració híbrida.....	85
<b>Taula 2.8</b> Esquema resum dels avantatges i inconvenients de cada tipus de central termoelèctrica.....	85

### -----Taules apartat 3-----

<b>Taula 3.1</b> Centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat (Berguedà).....	118
<b>Taula 3.2</b> Centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat (Bages).....	119
<b>Taula 3.3</b> Energia màxima i estimada produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat (Berguedà).....	122
<b>Taula 3.4</b> Energia màxima i estimada produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat (Bages).....	123
<b>Taula 3.5</b> Sumatori de l'energia màxima i estimada generada per les centrals mini-hidroelèctriques del cas d'estudi.....	124
<b>Taula 3.6</b> Energia i Cabal diari de les centrals mini-hidroelèctriques del cas d'estudi.....	127
<b>Taula 3.7</b> Dades de les EDAR instal·lades en el riu Llobregat (Berguedà).....	131
<b>Taula 3.8</b> Dades de les EDAR instal·lades en el riu Llobregat (Bages).....	132
<b>Taula 3.9</b> Recompte de les EDAR que utilitzen cada tipus de tractament.....	133
<b>Taula 3.10</b> Classificació de les EDR segons el tipus de tractament secundari que utilitzin.....	135
<b>Taula 3.11</b> Valors màxims o de disseny del cabal i de població equivalent.....	140
<b>Taula 3.12</b> Valors màxims o de disseny dels paràmetres i EDAR implicades.....	141
<b>Taula 3.13</b> Valors màxims o de disseny de separació de DBO <sub>5</sub> i EDAR implicades.....	141

<b>Taula 3.14</b> Ratio d'energia d'algunes EDAR.....	144
<b>Taula 3.15</b> Energia mensual consumida en l'EDAR de Manresa.....	145
<b>Taula 3.16</b> Cabal, ratio i consum energètic d'algunes EDAR.....	146
<b>Taula 3.17</b> Dades del cabal d'aigua real tractat per les EDAR del Berguedà.....	147
<b>Taula 3.18</b> Dades del cabal d'aigua tractada per les EDAR del Berguedà.....	147
<b>Taula 3.19</b> Dades de l'energia real consumida per les EDAR del Berguedà.....	148
<b>Taula 3.20</b> Dades d'energia real consumida per les EDAR del Berguedà.....	148
<b>Taula 3.21</b> Comparativa cabal de disseny i cabal real de les EDAR del Berguedà.....	149
<b>Taula 3.22</b> Taula resum de les EDAR les quals tenim dades reals de cabal i consum energètic.....	150
<b>Taula 3.23</b> Cabal i consum energètic màxim o de disseny de les EDAR que utilitzin fangs activats del Bages.....	153
<b>Taula 3.24</b> Cabal i consum energètic màxim o de disseny de les EDAR que utilitzin fangs activats del Berguedà.....	153
<b>Taula 3.25</b> Sumatori de cabal d'aigua i energia consumida màxima o de disseny de les EDAR que utilitzin fangs activats del cas d'estudi.....	154
<b>Taula 3.26</b> Estimació del cabal d'aigua tractat per les EDAR que utilitzen fangs activat.....	154
<b>Taula 3.27</b> Cabal estimat i energia consumida estimada en les EDAR que utilitzen fangs activats.....	155
<b>Taula 3.28</b> Taula resum de las dades obtingudes i estimades de les EDAR del cas d'estudi que utilitzen fangs activats del Bages.....	155
<b>Taula 3.29</b> Taula resum de las dades obtingudes i estimades de les EDAR del cas d'estudi que utilitzen fangs activats del Bages.....	156
<b>Taula 3.30</b> Comparativa entre les EDAR de Manresa, Bagà/Guardiola i Berga.....	157
<b>Taula 3.31</b> Comparativa de les EDAR de Navàs, La Pobla de Lillet i Cercs.....	158
<b>Taula 3.32</b> EDAR que no s'han tingut en compte per l'ajust exponencial de la figura 3.55.....	159
<b>Taula 3.33</b> Comparativa EDAR de Manresa i de Sant Cornelli de Cercs.....	160
<b>Taula 3.34</b> Comparativa de les EDAR de Berga i Sallent/Artés.....	162
<b>Taula 3.35</b> Comparació dels tractaments utilitzats en les EDAR de Berga i Sallent/Artés.....	163
<b>Taula 3.36</b> Sumatori de cabal d'aigua tractada i energia consumida per les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi.....	164

<b>Taula 3.37</b> Dades de consum energètic mensual de les EDAR de Gironella i Puig Reig a l'any 2015.....	165
<b>Taula 3.38</b> Consum energètic anual de les EDAR de Gironella i Puig Reig.....	166
<b>Taula 3.39</b> Dades de les EDAR de Gironella i Puig Reig.....	166
<b>Taula 3.40</b> Dades de l'EDAR de Balsareny.....	166
<b>Taula 3.41</b> Dades de l'EDAR de Balsareny.....	167
<b>Taula 3.42</b> Resum de dades de les EDAR del cas d'estudi que utilitzen la tècnica de filtres percoladors.....	168
<b>Taula 3.43</b> Comparativa entre algunes EDAR segons el tractament secundari que utilitzin.....	169
<b>Taula 3.44</b> Sumatori d'energia consumida i cabal d'aigua tractada per les EDAR del cas d'estudi que utilitzen la tècnica de filtres percoladors.....	170
<b>Taula 3.45</b> Dades de cabal tractat les EDAR de Montmajor i Nou Berguedà.....	171
<b>Taula 3.46</b> Dades de consum energètic de les EDAR calculat amb la relació (3).....	171
<b>Taula 3.47</b> Dades de consum enegètic de les EDAR calculat amb la relació (2).....	171
<b>Taula 3.48</b> Sumatori de cabal tractat i energia consumida per les EDAR que utilitzen la tècnica del Biodisc del cas d'estudi.....	172
<b>Taula 3.49</b> Sumatori de cabal tractat i energia consumida de totes les EDAR del cas d'estudi.....	173
<b>Taula 3.50</b> Dades de consum energètic mensual reals de les EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats del cas d'estudi.....	174
<b>Taula 3.51</b> Dades de consum energètic mensual calculat a partir de la potència instal·lada de les EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats del cas d'estudi.....	174
<b>Taula 3.52</b> Comparació de consum energètic real i consum energètic calculat a partir de la potència instal·lada i càlcul de la capacitat.....	175
<b>Taula 3.53</b> Comparativa de l'energia màxima i l'energia real de les EDAR del Berguedà que utilitzen fangs activats del cas d'estudi.....	176
<b>Taula 3.54</b> Llistat de les ETAP del cas d'estudi.....	177
<b>Taula 3.55</b> Dades de consum energètic real de l'ETAP de La Nou Berguedà.....	179
<b>Taula 3.56</b> Dades de consum energètic real de l'ETAP de Capolat.....	180
<b>Taula 3.57</b> Dades de consum energètic real de l'ETAP de Borredà.....	180
<b>Taula 3.58</b> Estimació de cabal tractat per les ETAP les quals no coneixem el seu cabal real...	181
<b>Taula 3.59</b> Dades de les ETAP de Balsareny, Sallent i Berga.....	181

<b>Taula 3.60</b>	Taula resum de les dades obtingudes de les ETAP del cas d'estudi.....	181
<b>Taula 3.61</b>	Comparativa entre l'ETAP i les EDAR de Sallent.....	185
<b>Taula 3.62</b>	Comparativa entre l'EDAR i l'ETAP de Balsareny.....	186
<b>Taula 3.63</b>	Consum d'aigua de les ETAP del cas d'estudi.....	187
<b>Taula 3.64</b>	Cabal i consum d'aigua de l'ETAP de Manresa.....	188
<b>Taula 3.65</b>	Sumatori de cabal tractat i energia consumida de les ETAP del cas d'estudi.....	189
<b>-----Taulas apartat 3-----</b>		
<b>Taula 4.1</b>	Resum dels resultats finals.....	190
<b>Taula 4.2</b>	Resultats finals en el cas A.....	190
<b>Taula 4.3</b>	Estimació consum energètic de les ETAP en el cas B.....	192
<b>Taula 4.4</b>	Resultats finals del cas B.....	193
<b>Taula 4.5</b>	Resum resultats finals en el cas B.....	193





## 1. INTRODUCCIÓ

El nexe entre l'aigua i l'energia és un tema actual en el qual s'estan invertint molts esforços per descobrir els diferents punts d'unió entre l'aigua i l'energia.

Mitjançant aquest treball es pretén estudiar àmpliament el nexe aigua i energia en els següents nivells: **l'energia per a l'aigua**, on es comentarà la necessitat d'energia dels processos per a l'obtenció i purificació de l'aigua, **l'aigua per a l'energia** on s'estudiarà l'energia continguda en l'aigua i les possibilitats d'aconseguir extreure aquesta energia de l'aigua en l'àmbit d'aigua residual. Així mateix, en aquest nivell s'estudiarà la necessitat d'aigua en els processos d'obtenció d'energia elèctrica.

Es tindrà en compte problemàtica dels ecosistemes com a conseqüència de la utilització de l'aigua per a la generació d'energia, a més de les diferents sinergies disponibles actualment.

El cas d'estudi que es presenta en aquest treball és l'avaluació del nexe aigua-energia en la conca del riu Llobregat des del seu naixement fins a Manresa. El recorregut d'aquest estudi s'inicia en la població de Castellar de N'hug i finalitza a l'alçada de Manresa. Es farà un recompte de totes les estacions d'aigua potable i residual així com de les centrals mini-hidroelèctriques que es troben en el recorregut estudiat. Aquest fet ens permetrà saber la generació d'energia elèctrica de les centrals mini-hidroelèctriques i d'altra banda, l'energia consumida per les estacions depuradores i potabilitzadores en el mateix tram.

Per tal de realitzar l'estudi serà necessari llistar la quantitat d'estacions potabilitzadores i depuradores, a més, de les centrals mini-hidroelèctriques que hi ha en el tram del Llobregat estudiat. S'haurà d'aconseguir consums energètics de les estacions potabilitzadores i depuradores i també valors d'energia produïda de les centrals mini-hidroelèctriques d'aquest tram.

En definitiva el cas d'estudi plantejat ens permetrà visualitzar casos reals del nexe aigua-energia.

### 1.1 Objectius

Els objectius principals d'aquest treball consistiran en:

1. Estudiar diversos aspectes del nexe aigua-energia.
2. Demostrar si es consumeix més energia de la que es genera o al contrari en el tram del riu Llobregat del cas d'estudi.

Per tal d'arribar a aquests objectius caldrà portar a terme:

1. Avaluar l'energia necessària per a l'obtenció d'aigua potable en les ETAP.
2. Avaluar l'energia necessària pel tractament de l'aigua residual en les EDAR.
3. Avaluar l'energia produïda en totes les centrals mini-hidroelèctriques.

## 2. NEXE AIGUA-ENERGIA

Avui en dia l'aigua i l'energia estan relacionades, tal i com es mostra a la figura 2.1:

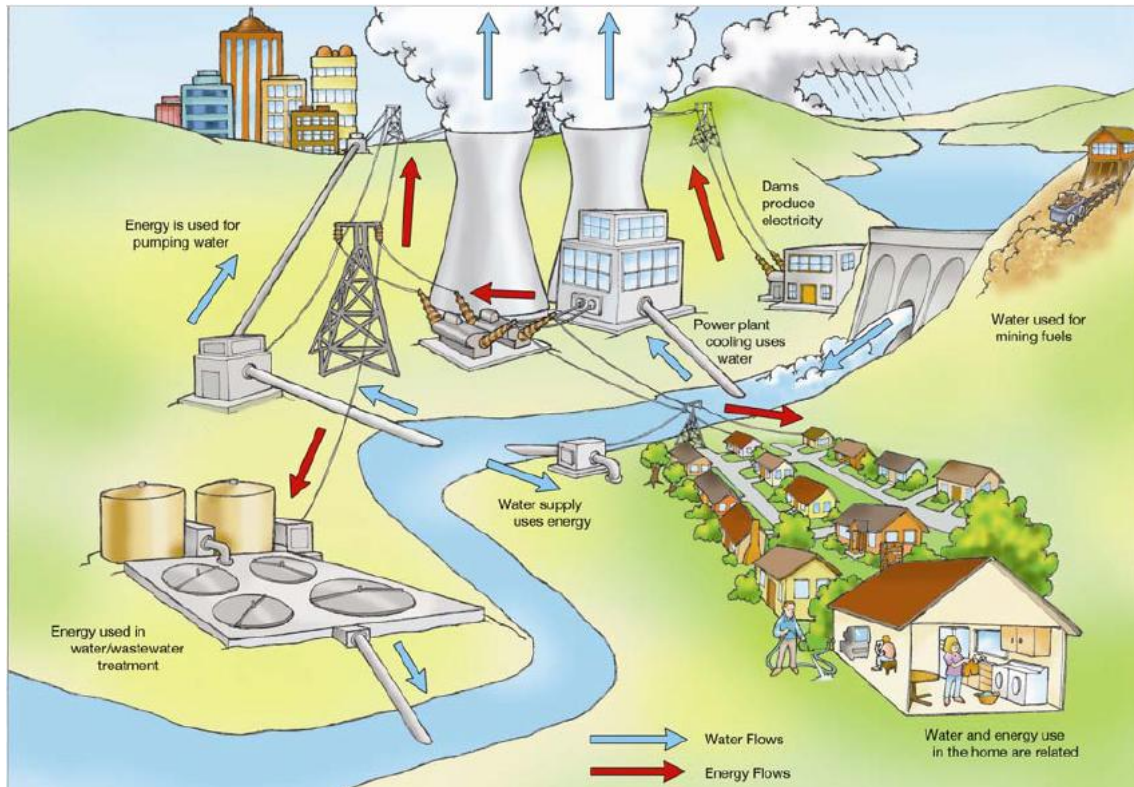


Figura 2.1 Nexe aigua-energia (Font: ref(1))

A continuació es numeren les necessitats d'aigua i d'energia representades en la figura 2.1.

1. Producció d'energia a partir de l'aigua (centrals hidroelèctriques).
2. Aigua per l'extracció i el processament del petroli i carbó.
3. Aigua per a la refrigeració de les centrals termoelectriques.
4. Energia pel tractament d'aigua residual.
5. Energia pel tractament d'aigua potable.
6. Energia pel bombament de l'aigua.

En definitiva, l'aigua i l'energia estan fortament relacionades: l'aigua és necessària produir, transportar i utilitzar totes les formes d'energia i l'energia és necessària per extreure, tractar i distribuir l'aigua, tant la potable com la residual.

Aquesta relació entre l'aigua i l'energia crea una dependència, ja que, sense aigua no hi haurà energia, i sense energia no es podrà tractar l'aigua per retornar-la als rius o als mars.

L'escassetat d'aigua és un fet que està succeint actualment en el nostre planeta, que provoca directament problemes en la generació d'energia elèctrica.

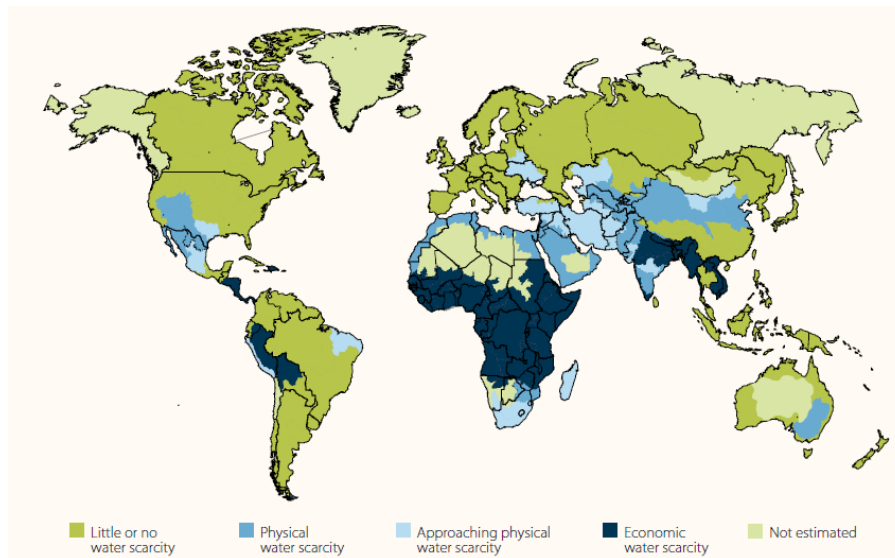


Figura 2.2 Escassetat d'aigua en el món. (Font: ref(2))

L'escassetat d'aigua és present en la majoria de països del món, i és crítica en diversos d'ells (figura 2.2). La dependència entre l'aigua i l'energia suposa una forta problemàtica, ja que, l'escassetat de l'aigua provocarà directament l'escassetat d'energia i al contrari.

L'augment previst de la població mundial, arribant a  $9 \cdot 10^9$  persones al voltant del 2050, suposarà un augment de la demanda d'aigua i un augment de la demanda d'energia. Per produir més quantitat d'energia és necessitarà un major consum d'aigua, fet que pot arribar a provar greus problemes en l'esgotament d'aigua dolça.

Aquesta problemàtica suposa prendre decisions en el sentit de:

- ✓ el desenvolupament d'aquelles formes de generació d'energia elèctrica que suposin menor consum d'aigua.
- ✓ el desenvolupament de sistemes gestió d'aigua que permetin la conservació de l'energia.

## 2.1 Problemàtica dels ecosistemes

La disponibilitat d'aigua en les quantitats adequades i amb la qualitat adequada depèn del benestar dels ecosistemes. Per tant, s'ha d'assegurar un menor impacte sobre aquests per poder mantenir l'aigua en una elevada quantitat i d'una elevada qualitat.

Els ecosistemes proporcionen un entorn propici tant com pels fluxos d'aigua com pel subministrament d'energia, i aquest estan afectats per molts dels processos de l'aigua i energia. Tals com: generació d'energia de les centrals hidroelèctriques, el regadiu necessari per la generació de biofuels, generació d'energia per les centrals termoelectriques, extracció i processat del petroli i del carbó.

Els ecosistemes en proporcionen serveis indispensables per a la generació d'energia elèctrica, d'altra banda, la generació d'energia elèctrica provoca impactes en els ecosistemes.

A continuació es mostra una taula on es representa el impacte que provoca cada forma d'energia:

**Taula 2.1 Impacte de cada forma d'energia. (Font: ref(2))**

Forma d'energia	Ús d'aigua	Impacte ecosistema
<b>HIDROELÈCTRICA</b>	Producció d'energia aprofitant l'energia potencial de l'aigua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulació del flux d'aigua aigües a baix (consum d'aigua).</li> <li>• Transport de sediments aigües a baix.</li> <li>• Espècies aquàtiques.</li> </ul>
<b>BIOFUELS</b>	Aigua necessària pel regadiu dels camps de cultiu. Aigua utilitzada per la biomassa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulació del flux d'aigua (consum d'aigua)</li> <li>• Producció de menjar.</li> <li>• Qualitat de l'aigua.</li> </ul>
<b>PETROLI, CARBÓ I GAS NATURAL</b>	Aigua necessària per l'extracció, pel refinament i per l'ús d'aquests combustibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissió de gasos d'efecte hivernacle.</li> <li>• Problemes paisatgístics.</li> <li>• Erosió del terreny.</li> </ul>
<b>TERMOLÈCTRICA</b>	Aigua necessària per la refrigeració i per a la generació de vapor d'aigua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodiversitat</li> <li>• Ecosistemes aquàtics</li> </ul>

### 2.1.1 Impacte de les centrals hidroelèctriques

L'impacte en l'ecosistema que provoquen les centrals hidroelèctriques és a conseqüència dels embassaments i les preses. Aquests no permeten fluir l'aigua i tampoc permeten la migració dels peixos. La construcció de presses suposa una regulació artificial del flux de l'aigua del riu, i té com avantatge la reducció de les inundacions estacionals, i com desavantatge, l'efecte a l'ecologia del riu (espècies aquàtiques, fertilitat del sol, recàrrega dels aqüífers...).

Per altra banda, aquelles centrals hidroelèctriques que no tenen pressa, les anomenades centrals d'aigua fluent, també provoquen un impacte en l'ecosistema, ja que, desvien part del cabal del riu fins a la central hidroelèctrica. Aquest desviament si no es fa adequadament, pot provocar greus problemes en el riu, fins i tot arribat a provocar la desaparició d'aquest.

Per tal d'assegurar la continuïtat del riu, es desvia el volum d'aigua que permeti que en el recorregut del riu es mantingui en tot moment l'anomenat cabal mínim. Aquest és el cabal mínim indispensable per no permetre l'assecamment del riu.

### 2.1.2 Impacte de la generació de Biofuels

Els biofuels, l'avantatge que suposen en els ecosistemes és la reducció de les emissions d'efecte hivernacle respecte els combustibles fòssils. Però d'altra banda, suposen un augment excessiu de la utilització de la terra, de l'aigua, dels fertilitzants, dels pesticides i els herbicides.

Per tant, la producció de biofuel suposa un consum dels recursos hídrics, una possible contaminació d'aquests i possibles modificacions de les propietats dels camps que poden suposar problemes de producció d'aliments.

### 2.1.3 Impacte del petroli, carbó i gas natural.

L'extracció, processament i utilització dels combustibles fòssils tenen associats diversos impactes en els ecosistemes. Els impactes es basen en: el consum d'aigua, la contaminació, i la generació de gasos d'efecte hivernacle.

Les fugues de petroli en el mar (contaminació de l'aigua, reducció de la qualitat de l'aigua), els danys a la terra per l'extracció del carbó i del gas natural (erosió del terreny) i els incendis accidentals deguts a l'extracció d'aquests combustibles, també es tenen en compte com a contaminació d'aquests combustibles.

Per a l'extracció d'aquests combustibles s'han de realitzar perforacions al terreny que provoquen un deteriorament d'aquest, a part de canvis paisatgístics.

La utilització d'aquests combustibles provoca la generació massiva de gasos d'efecte hivernacle que són causants de la destrucció de la capa d'ozó permetent l'augment de temperatura del planeta.

### 2.1.4 Impacte de les centrals termoelectriques

Hi ha un tipus de centrals termoelectriques, les de circuit obert, que utilitzen aigua del riu o de llacs propers a la central per usos de refrigeració. Aquest fet té diverses repercussions sobre els ecosistemes aquàtics.

L'aigua del riu entra en el condensador fent el paper de fluid fred, aquest capta la calor proporcionada pel vapor d'aigua i conseqüentment, condensa el vapor d'aigua i augmenta la temperatura del fluid del riu. Aquest flux es retornat al riu a una temperatura superior, tal i com es mostra a la figura 2.3.

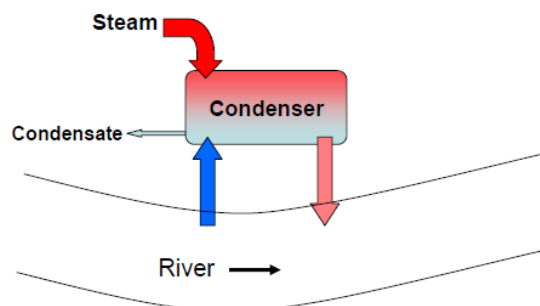


Figura 2.3 Retorn d'aigua al riu pel condensador (Font: ref(1))

L'augment de la temperatura de l'aigua provoca la disminució de la solubilitat de l'oxigen, per tant, es disminueix la concentració de l'oxigen en l'aigua. Fet que directament provoca la mort de diverses espècies aquàtiques.

Per tant, les centrals termoelèctriques afecten sobre la biodiversitat dels rius o llacs.

A més d'aquest impacte, com que les plantes termoelèctriques utilitzen combustibles fòssils per a la generació del vapor d'aigua, també utilitzen l'aigua per altres processos com la dessulfuració, rentat del carbó, etc. Aquests processos provoquen que en el flux d'aigua de sortida hi hagi diversos contaminants que afecten directament a la qualitat de l'aigua i als ecosistemes aquàtics.

## **2.2 Recerca de sinergies**

La demanda en augment dels recursos hídrics limitats, dona lloc a la competència entre el sector de l'energia i altres sectors que necessiten aigua, tals com: l'agricultura i la indústria. D'altra banda, el canvi climàtic i l'esgotament dels recursos hídrics, també posa pressió a aquesta competència.

El canvi climàtic afecta profundament en la producció d'energia elèctrica, ja que, en tot el món, les sequeres i les onades de calor han provocat diversos problemes en la producció d'energia elèctrica, fet que directament ha generat greus conseqüències econòmiques.

Aquesta competència genera la recerca de sinergies per tal de conservar l'aigua o l'energia o ambdues a la vegada.

### **2.2.1 Eficiència en l'agricultura.[ pro aigua i pro energia]**

L'aplicació de mesures d'eficiència energètica nivell de l'agricultura i en totes les etapes de la cadena agroalimentària pot suposar grans estalvis. L'elevada demanda d'aigua de l'agricultura i com a conseqüència, l'elevada demanda energètica, fan d'aquest sector un sector amb un elevat potencial d'aplicació de mesures d'estalvi d'energia i d'aigua.

Les mesures que es poden aplicar en aquest camp d'acció són:

- ✓ Mesures conservació dels aliments.
- ✓ Coneixement de reg de precisió.

Les mesures de conservació dels aliments es basen en tècniques que permetin no malgastar els aliments. Tècniques basades en tenir cura de la generació, collita i transport dels aliments per aconseguir que siguin poques unitats d'aliments les que siguin danyades, si s'aconsegueix reduir les pèrdues d'aliments en el procés, no s'haurà de produir tanta quantitat d'aquest per abastir la demanda. Per tant, si s'apliquen aquestes tècniques, aconseguiríem un estalvi d'aigua, d'energia i de terra.

El coneixement del reg de precisió és el coneixement de l'aigua que necessita el camp i la forma en que aquesta es proporciona. Si s'apliquen les mesures en els camps per proporcionar a aquests únicament l'aigua necessària i haurà un estalvi d'aigua significatiu. Els cultius normalment capten la meitat del reg aplicat, fet que suposa que hi hagin diverses alternatives per realitzar un reg més eficient. Una forma d'aconseguir aquest reg, és millorant

l'eficiència dels sistemes mecànics de reg, fet que suposaria directament un estalvi energètic (o de combustible pel bombeig).

L'elevada demanda d'aigua i d'energia ha ocasionat que diversos països d'arreu del món implantin mesures de conservació d'aigua i d'energia en el sector de l'agricultura. Per exemple, en Gujarat, un dels estats més secs d'Índia, s'han implantat polítiques per racionar el subministrament d'energia agrícola, i per tant, el subministrament d'aigua amb la finalitat de fer consciència als agricultors per que realitzin un ús més moderat de l'aigua.

Es poden aplicar altres tècniques de conservació d'aigua en el sector de l'agricultura, tals com: la reutilització d'aigües residuals o l'extracció d'aigua subterrània pel reg dels camps. Les dues tècniques ens permetrien conservar eficientment l'aigua superficial, tot i que, per aplicar-les és necessari un consum energètic. Aquest consum energètic, en el cas de la reutilització d'aigües residuals es produeix en el punt del tractament d'aquesta aigua fins arribar a una qualitat suficient com per poder reutilitzar-la, però com veurem en apartats posteriors, podem aprofitar l'aigua residual domèstica, exactament l'anomenada aigua gris per aquesta reutilització, ja que aquesta aigua no requereix d'un exhaustiu tractament per ser reutilitzada.

Amb l'aplicació d'aigua de reg subterrània, el consum energètic és degut al bombament des de la font de l'aigua fins la superfície.

L'ús d'aigua subterrània per a l'agricultura, és una tècnica molt aplicada a l'Índia. Per exemple, el govern de Gujarat va subvencionar electricitat pel bombeig d'aigua subterrània, fet que va suposar un augment massiu de les extraccions d'aigua subterrània, fins el punt d'ocasionar greus problemes de generació d'energia elèctrica.

### **2.2.2 Conservació d'aigua [pro-aigua]**

Les mesures de conservació d'aigua generen un elevat estalvi d'aigua, per tant, degut a l'escassetat actual d'aigua, aquestes mesures s'estan desenvolupant i començant a implementar.

Es creu que més de la meitat de la demanda d'aigua d'algunes ciutats EE.UU es podria estalviar mitjançant el desenvolupament i l'aplicació de tècniques de conservació d'aigua.

Les tècniques de conservació d'aigua es basen en:

- ✓ Prevenció de fuites
- ✓ Equipaments d'aigua eficients
- ✓ *Xeriscaping* (paisatges conservadors de l'aigua)
- ✓ Recollida tractament i reutilització d'aigües pluvials
- ✓ Reutilització d'aigua residual tractada
- ✓ Utilització d'aigua salada

La prevenció de fuites de les canonades i altres equipaments de l'aigua fan que hi hagi una certa conservació d'aigua. L'aplicació d'aquesta tècnica es basa en la implantació de bones tècniques de manteniment dels equips.

La introducció d'equipament d'aigua eficient és bàsicament la inversió en equipament que no requereixin un elevat consum d'aigua o que no en facin un mal ús.

Els paisatges conservadors d'aigua es basen en paisatges on s'implanten vegetació en funció del clima de la zona i s'assegura que en la zona, no hi hagi pèrdues d'evaporació ni de fuites.

La recollida, tractament i reutilització de les aigües pluvials ens proporciona una quantitat d'aigua que pot abastir un cert percentatge de la demanda d'aigua dolça. Però d'altra banda, la recollida d'aquesta i el seu tractament suposa un elevat consum energètic.

El tractament d'aigua residual tractada amb una posterior reutilització per a usos no potables, tals com: reg, aigua del dipòsit vàter, aigua de la dutxa, etc. també suposaria una gran reducció de la demanda d'aigua. Aquesta tècnica de conservació d'aigua, com la tècnica anterior, també té associat un elevat consum energètic degut al tractament de l'aigua.

La utilització d'aigua salada també podria ser una via de conservació d'aigua dolça, però les tècniques per desenalitzar l'aigua com l'òsmosi inversa, suposen grans consums energètics i d'aigua.

Per tant, de totes les tècniques de conservació d'aigua, la majoria porten associat un consum energètic, conseqüentment, si s'apliquen aquestes tècniques vol dir que només es té en compte la conservació d'aigua, per tant seria una sinergia anomenada pro-aigua.

### **2.2.3 Eficiència a la indústria [ pro aigua i energia]**

L'aplicació de tècniques de conservació d'aigua i d'energia cada vegada és més comú en les indústries. L'eficiència energètica de les indústries ha estat implantada com a conseqüència de la pujada de preus de l'electricitat i dels reglaments d'emissions d'efecte hivernacle.

Però, d'altra banda, la conservació d'aigua a les indústries ha agafat més força en els últims anys, aquesta ha estat impulsada pel compromís amb les polítiques corporatives, pel compliment de reglaments com ISO 1400 (gestió ambiental) i per la forta pressió dels consumidors.

Per aconseguir les fites de conservació i eficiència és indispensable la realització d'auditories d'aigua i energia. Aquestes avaluen les petjades hídriques i elèctriques que suposa el funcionament de la indústria, per tant, avaluen els punts de més consum de la indústria i seran aquest on s'implantin les tècniques correctores. La implantació en les indústries de normes com ISO1400 (gestió ambiental), ISO 5000 (Gestió de l'Energia) i LEED (Lideratge en Energia i Disseny ambiental) obliguen a aquestes a la introducció de tècniques de conservació d'energia i d'aigua, i a canvi, el compliment d'aquestes normes proporciona a la indústria un prestigi i un reconeixement global.



Les mesures de conservació d'aigua per les indústries es basen en: la reutilització de l'aigua i en el reciclatge o l'ús de l'aigua residual, basant-se en les tecnologies de descàrrega zero.

La reutilització de l'aigua de la indústria es basa en tornar a introduir al procés l'aigua de sortida d'aquest. La implantació d'aquesta tècnica té diversos avantatges:

- Reducció de la demanda d'aigua d'entrada.
- Reducció del pretractament de l'aigua d'entrada.

La reducció de la demanda d'aigua d'entrada es redueix notòriament, inclús arribant a ser zero en alguns casos. Si s'aconsegueix que la demanda d'aigua del procés industrial sigui zero aconseguim un procés de descàrrega zero, on l'aigua de l'interior del procés sempre sigui la mateixa i no necessiti d'aportacions d'aigua exterior.

El tractament de l'aigua d'entrada al procés és més reduït ja que, l'aigua de sortida que torna a entrar en el procés ha estat tractada amb anterioritat, i conseqüentment ja té la qualitat necessària per passar pel procés de nou. Per tant, la introducció de l'aigua de sortida de nou al procés no suposarà un elevat tractament, només s'hauran d'extreure les impureses de l'aigua degudes al pas d'aquesta pel procés industrial. La reducció del tractament de l'aigua suposa directament un estalvi energètic i també un estalvi d'aigua. Per tant, implementant aquesta tècnica hi hauria un estalvi energètic i hídric.

A continuació es mostra un esquema per veure la tècnica de reutilització de l'aigua:

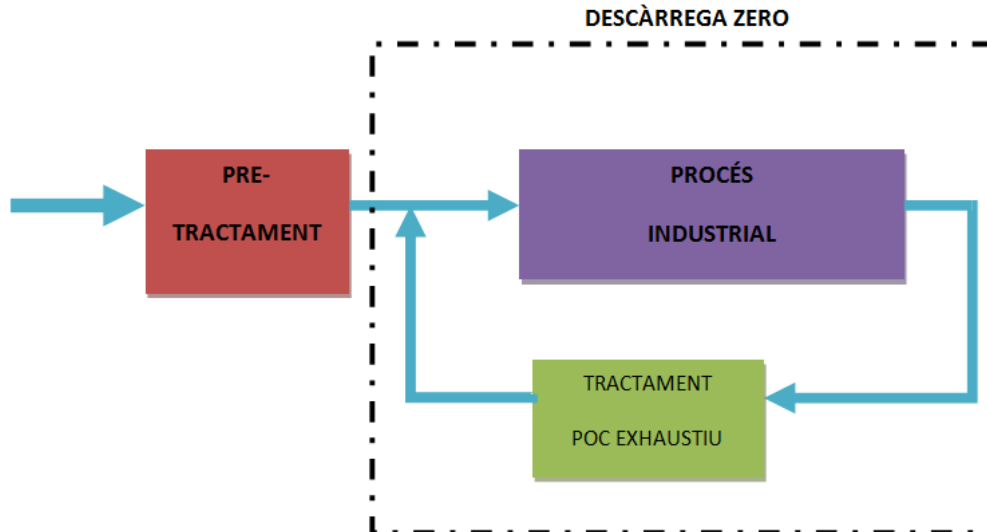


Figura 2.4 Esquema del recorregut de l'aigua en una indústria (Font: Pròpia)

Tal i com es mostra a la figura 2.4 l'aigua d'entrada provinent de l'exterior requereix d'un pretractament exhaustiu, però un cop aplicat aquest, no és precisa d'un tractament de la mateixa intensitat en l'aigua que ha passat pel procés.

En l'àmbit de conservació d'energia les tècniques adoptades són bàsicament les de tecnologies verdes que es basen en maquinaria que és eficient energèticament.

### 2.2.4 Eficiència en centrals termoelèctriques [Pro-aigua i energia]

L'ús de l'aigua en les termoelèctriques augmenta la pressió en el conflicte entre la utilització de l'aigua per a la generació d'energia elèctrica o la utilització d'aigua per altres usos.

Com a conseqüència, moltes de les noves estacions termoelèctriques, especialment aquelles que estan instal·lades en regions àrides, incorporen a les seves instal·lacions processos de refrigeració alternatius per minimitzar l'extracció d'aigua.

Com veurem en apartats posteriors, les centrals termoelèctriques tenen associat un elevat consum d'aigua, aquest és degut principalment a la refrigeració necessària per a la condensació del vapor de sortida de les turbines. En canvi, aquelles que utilitzen una refrigeració seca no consumeixen aigua, però si tenen un elevat cost energètic.

Des del punt de vista del consum d'aigua d'aquestes centrals hi ha diferents alternatives per reduir-lo:

- ✓ Utilització d'aigua del mar com a líquid refrigerant.
- ✓ Utilització d'aigua residual tractada com a líquid refrigerant. (veure apartat 2.6.2)
- ✓ Utilització de la calor de l'aigua de sortida de les turbines de vapor per altres usos.

Aquestes dues alternatives, sent aplicades permetrien reduir considerablement o totalment el consum d'aigua dolça de les centrals termoelèctriques.

Tot i que des del punt de vista de conservació d'aigua dolça aquestes dues alternatives serien viables, hem de tenir en compte els desavantatges que pot suposar la utilització d'aquests dos tipus d'aigua.

L'aigua del mar si és introduïda com a fluid fred en un condensador, pot provocar-li problemes de corrosió degut a la salinitat de l'aigua. Si en canvi, es prefereix desalinitzar l'aigua, hem de tenir en compte que això suposa un elevat consum energètic. Aquesta alternativa seria viable per aquelles centrals termoelèctriques que estan situades a la costa.

En canvi, si s'utilitza l'aigua residual com a líquid refrigerant, una tècnica cada vegada més utilitzada en Estats Units, tenim el risc de contaminació dels equips de refrigeració on circuli l'aigua, que podrien provocar greus deterioraments en l'equipament, obligant a reemplaçar-los en un curt període de temps.

Una altre alternativa podria ser no condensar el vapor d'aigua que surt de les turbines generadores d'electricitat, per tal d'aprofitar la calor amb la qual surt aquest vapor per altres usos. La calor del vapor d'aigua podria aprofitar-se en altres processos, tals com: processos de destil·lació en les plantes de desalació d'aigua, que suposa un estalvi tant d'energia com d'extracció d'aigua.

Eliminant la refrigeració del procés de generació d'energia elèctrica de les centrals termoelèctriques, haurem aconseguit eliminar el consum d'aigua i a més el consum energètic d'altres processos es reduirà com a conseqüència de l'aprofitament tèrmic d'aquest vapor

### 2.2.5 Generació d'energia elèctrica amb fonts renovables [ Pro-aigua]

Des del punt de vista de l'aigua, la millor forma de generació d'energia és l'energia solar fotovoltaica i l'eòlica. Aquestes dues són les dues formes de generació d'energia que menys consum d'aigua suposen.

Però d'altra banda, la generació d'energia elèctrica a partir d'aquestes dues vies no és constant, ja que depèn de les condicions meteorològiques. Conseqüentment, aquestes dues energies necessiten ser compensades per altres fonts d'energia per abastir l'energia elèctrica.

Una altre font d'energia renovable que no suposa un gran impacte hídric és l'energia geotèrmica. Aquesta està localitzada en diversos punts de la Terra, bàsicament on hi hagin falles. Però com a desavantatge d'aquesta energia és que no té un elevat poder energètic, per tant, com l'energia solar i l'eòlica, hauria d'estar compensada amb altres fonts d'energia per abastir la demanda.

Concloem, que per abastir la demanda d'energia elèctrica, cada vegada superior, hem d'augmentar fortament el desenvolupament de les energies renovables esmentades fins aconseguir que aquestes siguin capaces de produir molta més energia elèctrica de la que avui en dia generen.

## 2.3 Energia per l'aigua : Energia consumida en el tractament de l'aigua

### 2.3.1 Tractament d'aigua potable

El tractament d'aigües potables es basa en l'aplicació consecutiva i en aquest ordre d'aquestes tècniques (3):



Figura 2.5 Esquema de les etapes d'una ETAP (Font:Pròpia)

- **Captació d'aigua**

Les captacions d'aigua de les ETAP no només es realitzen del riu sinó que també poden captar aigua subterrànies, de rieres, de llacs o embassaments. Per exemple, l'ETAP de Manresa capta un 87,3% de l'aigua del riu Llobregat i 12,7% d'altres captacions (4).

Les ETAP en el seu procés tenen pèrdues d'aigua, com a conseqüència de les purgues dels decantadors i de la neteja dels filtres. S'estima que la captació d'aigua de l'ordre d'un 10%

superior que l'aigua que han de subministrar, per assegurar-se que les pèrdues no provoquen problemes de subministrament.

La captació d'aigua es fa mitjançant un equipament basat en bombes i canonades. Aquest equipament serà mes o menys complex segons la complexitat del recorregut des de la captació d'aigua fins l'ETAP. Conseqüentment, hi haurà més consum energètic o menys.

- **Desbast**

El desbast té com objectiu l'eliminació dels sòlids en suspensió grans mitjançant reixes o tamisos. Aquest equipament es el primer que es troba abans d'entrar a l'ETAP .

El procediment de desbast que hi ha en les estacions potabilitzadores és el mateix que el que hi ha en les estacions depuradores. Aquest procediment pot estar format per diferents tipus de reixes i de tamisos tal i com s'explica en el apartat de desbast del tractament d'aigua residual.

- **Desinfecció**

Després d'haver extret els sòlids en suspensió de més grandària gràcies al desbast es fa una primera desinfecció.

La desinfecció té com a objectiu eliminar organismes causants de malalties o patògens presents en l'aigua.

La desinfecció es pot realitzar mitjançant:

- ✓ Clor
- ✓ Ozó
- ✓ Iode
- ✓ Brom
- ✓ Raig ultra violetes
- ✓ Aplicació de calor

El compost químic més utilitzat per a la desinfecció és el clor. I, el segon compost més utilitzat és l'ozó.

L'ozó és el compost que normalment s'utilitza per aquesta primera desinfecció. L'ozó té un cost molt elevat, és inestable i és capaç de formar compostos amb certa toxicitat. Però d'altra banda, l'ozó té un poder desinfectant més elevat que el clor.

- **Decantació**

Aquest procés té com objectiu separar les partícules que es trobin en suspensió en l'aigua i no hagin sigut separades en les operacions anteriors.

Per ajudar a la decantació d'aquests compostos s'apliquen tècniques de coagulació i floculació. La introducció de coagulants provoca que les partícules col·loïdals s'agrupin formant col·loides desestabilitzats o microflocs, que són una agrupació. La coagulació també aconsegueix la destrucció d'algues i plàncton.

La floculació aconseguix que els microflocs s'agrupin formant flocs, que precipiten al fons del sedimentador com a conseqüència de la gravetat.

Els floculants i coagulants són compostos químics. Els coagulants solen ser sals d'alumini o sals de ferro, i en canvi, els floculants són polielectròlits que poden ser; catiònics, neutres o aniònics.

En el procés de coagulació-floculació hi ha diversos aspectes que s'han de controlar per tal de tenir una millor eficiència: el pH, la grandària de les partícules, la temperatura, l'alcalinitat i l'agitació.

Quan introduïm els coagulants necessitem una ràpida agitació, per tal de que aquestes substàncies químiques interaccionin amb els components que té l'aigua ràpidament i formin els microfloc. Però en el moment de la introducció del floculant, l'agitació ha de ser lenta, ja que una ràpida agitació podria provocar el trencament dels microflocs, de manera que no aconseguiríem la formació de flocs ni la seva posterior decantació.

Per tant per a la correcta aplicació de la tècnica de coagulació-floculació es necessita un tanc de mescla ràpida, per a la coagulació, un tanc de mescla lenta per a la floculació i finalment un tanc sedimentador, on la gravetat provocarà la sedimentació d'aquestes partícules.

A continuació es mostra una figura, que representa el procés de coagulació i floculació, mostrant els tres tancs necessaris per a la seva realització:

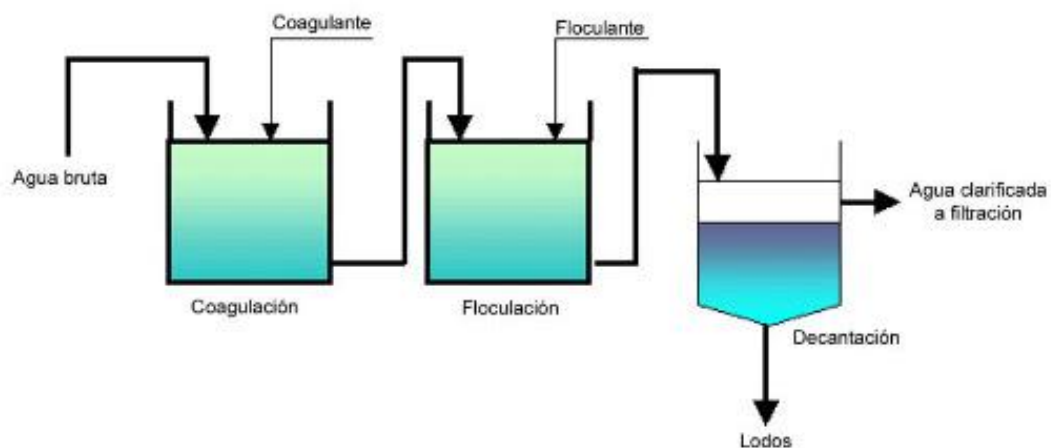


Figura 2.6 Esquema del procés de decantació (Font:ref(5))

A continuació es mostra els decantadors que utilitzen l'estació potabilitzadora de Manresa:



Figura 2.7 Fotografia dels decantadors de l'ETAP de Manresa (Font: Pròpia)

- **Filtració**

Tal i com es mostra a la figura 2.6, el clarificat que surt del tanc de sedimentació se li aplica una filtració.

Amb la filtració aconseguim extreure aquelles partícules més petites que no han aconseguit precipitar-se en l'operació anterior.

La filtració consisteix en passar un fluid amb partícules en suspensió per un sistema filtrant, on queden aquestes retindudes.

El sistema filtració que s'utilitza en les potabilitzadores és la filtració en profunditat on el sistema filtrant és un llit filtrant ple de sorra o d'antracita o carbó o de la combinació de les tres. S'ha d'estudiar l'espessor del compostos filtrants òptim per una bona filtració (6).

A continuació es mostra un esquema del sistema de filtració:

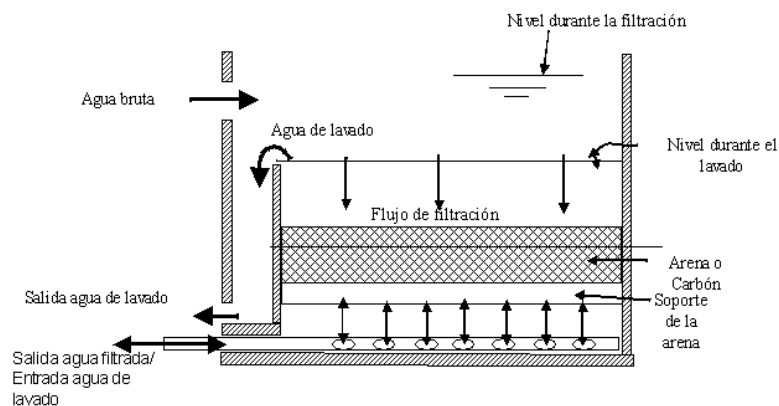


Figura 2.8 Tanc de filtració (Font: ref(6))

A continuació es mostra una imatge dels filtres de sorra que utilitzen en les estacions potabilitzadora de Manresa:



Figura 2.9 Fotografia dels tancs de filtració de l'ETAP de Manresa (Font: Pròpia)

Aquests filtres es colmaten com a conseqüència de les partícules que queden retingudes al seu interior. Quan els sistemes filtrants queden colmatats redueixen la seva acció filtrant, per tant s'han de netejar contínuament per tal de que no reduir l'eficiència de filtració. En la neteja dels filtres és el punt on es consumeix aigua.

- **Cloració**

La cloració és la desinfecció mitjançant clor. Normalment aquesta desinfecció es fa mitjançant clor gas, tot i que també es pot realitzar mitjançant compostos que continguin clor.

El clor reacciona amb espècies inorgàniques reductores, amb amoníac i amb la matèria orgànica.

Les cloramines són el resultat de la interacció de l'amoníac i el clor, aquestes consumeixen clor per formar diferents formes de cloramines de manera que disminueix el poder desinfectant. Aquestes cloramines es destrueixen amb la introducció de més quantitat de clor, i formen òxid de dinitrogen i àcid clorhídric.

Els compostos clorats són tòxics i es formen a partir de la interacció del clor amb la matèria orgànica.

Hi ha diferents etapes en la desinfecció mitjançant clor: En la primera etapa el clor es consumeix per oxidar els compostos orgànics. En la segona etapa és on es formen les cloramines. En la tercera etapa les cloramines per oxidació. En l'última etapa el clor que s'addiciona és el clor residual que queda en l'aigua, de manera que en l'aigua queden un cert ppm de clor.

El clor gas s'emmagatzema en uns tancs dels qual s'extreu la quantitat necessària de clor que necessiten per desinfectar l'aigua. A continuació es mostra una imatge dels dipòsits de clor gas que tenen a l'estació potabilitzadora de l'ETAP de Manresa:



Figura 2.10 Tancs de clor gas de l'ETAP de Manresa. (Font: Pròpia)

- **Bombament**

Finalment, un cop l'aigua té la qualitat suficient per l'ús humà s'envia des de l'estació depuradora fins a les unitats domèstiques, fàbriques etc.

El bombament de cada estació potabilitzadora varia en funció del recorregut que l'aigua hagi de realitzar des de l'ETAP fins el lloc de consum.

Segons la posició geogràfica de l'ETAP necessitarà una bomba amb més o menys potència per transportar l'aigua, i conseqüentment, consumirà més o menys energia.

Aquesta última etapa està composta d'un sistema complex de canonades, amb diversos dipòsits, a més de les bombes d'aigua, les quals, la seva potència dependrà del recorregut que hagi de realitzar l'aigua.

- ❖ **Consum energètic de les ETAP**

El consum energètic de les ETAP es troba especialment en les operacions de filtració i de bombament.

El bombament des de la captació d'aigua fins la ETAP i des de l'ETAP fins el consumidor. Per tant, el consum d'energia de les ETAP dependrà de la posició de l'estació depuradora.

### **2.3.2 Tractament d'aigua residual**

El tractament d'aigües residuals es basa en l'aplicació consecutiva (tal i com mostra la figura 2.3.2.1) de tres tractaments:

1. **Tractament primari**
2. **Tractament secundari**
3. **Tractament terciari**



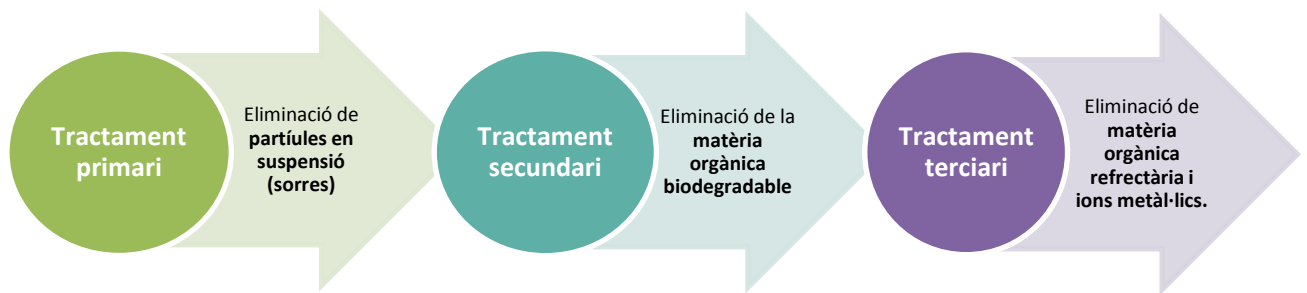


Figura 2.11 Etapes del procés de tractament d'aigua residual (Font:Pròpia)

L'objectiu del tractament primari és l'eliminació de les partícules en suspensió. En el tractament secundari s'elimina la matèria orgànica biodegradable. Els components concrets com la matèria orgànica no biodegradable (refractària) i els ions metàl·lics, que no s'han pogut eliminar en altres tractaments, són els que se separen en el tractament terciari.

En una estació depuradora convencional apareixen els dos primers tractaments, tot i que segons la composició de l'aigua és necessari la introducció de el tractament terciari. A continuació explicarem els tres tractaments que s'apliquen a les EDAR per tractar l'aigua residual.

### **1.Tractament primari**

Com hem dit anteriorment, la finalitat d'aquest tractament és la separació de matèria en suspensió, aquells sòlids de gran grandària que transporti l'aigua residual a tractar.

Hi ha diferents tècniques per dur a terme aquesta finalitat, tals com: La sedimentació, la flotació i floculació, el desbast.

- **Desbast**

Aquesta operació sol ser la primera que hi ha en totes les EDAR. El desbast es pot fer a partir de reixes o a partir de tamisos.

Les reixes són barres paral·leles que estan situades en posició transversal. El cabal d'aigua travessa aquestes reixes de manera que els sòlids de gran grandària, que transporta l'aigua, queden retingudes entre les reixes.

Els tamisos poden ser un enreixat de fil metàl·lic o bé una xapa foradada. L'aigua travessa el tamís on queden retingudes les partícules. Hi ha dos tipus de tamisos, el tamís rotatiu i el tamís estàtic (7).

A continuació en la figura 2.12 es mostra un esquema d'un tamís rotatiu.

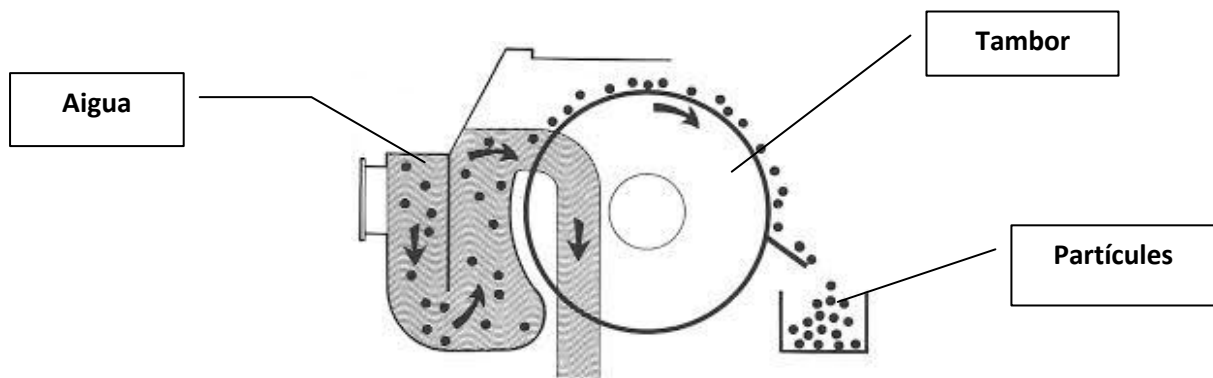


Figura 2.12 Tamís rotatiu (Font: ref(7))

L'aigua travessa el tambor que està format pel tamís i les partícules queden retingudes en el tamís, que posteriorment es diposita en un recipient.

El tamís rotatiu necessita el moviment rotatiu del tambor, i conseqüentment, es requereix energia elèctrica per moure aquest, cosa que suposa un cert consum energètic.

A continuació, a la figura 2.13 es mostra un tamís estàtic:

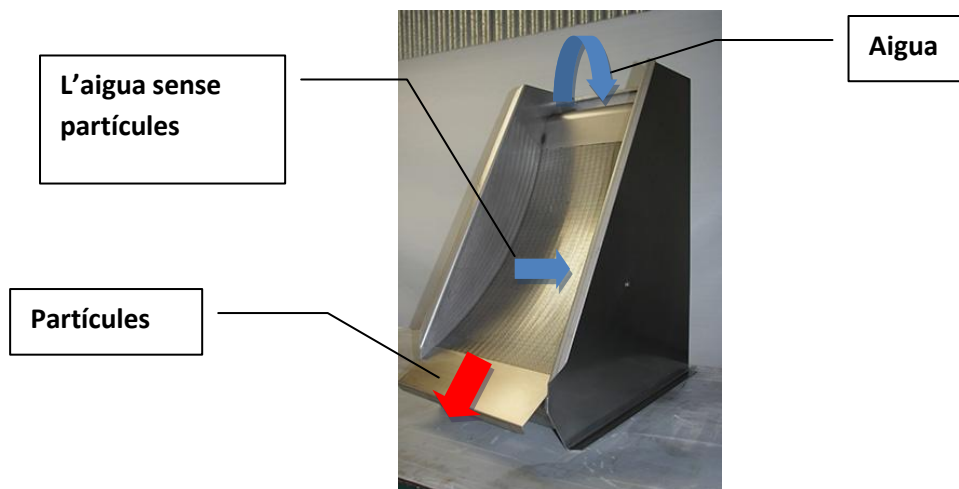


Figura 2.13 Tamís estàtic (Font: ref(8))

En el cas del tamís estàtic l'aigua es inserida per la part superior, tal i com es mostra a la figura 2.13, les partícules es queden retingudes en el tamís i es desprenen per la part inferior d'aquest, d'altra banda, l'aigua sense partícules, travessa el tamís i es recollida per la part posterior. El tamís estàtic és un tipus de filtre molt utilitzat en les estacions depuradores (8).

Si utilitzem aquest tipus de tamís evitariem el consum energètic, per tant, seria més eficient que el tamís de tambor.

- **Sedimentació / desorrador**

Seguidament al Desbast hi ha la sedimentació on s'elimina aquelles partícules que són s'han eliminat en el desbast. L'objectiu de la sedimentació és l'eliminació de sorres, sòlids en suspensió, a més, de l'espessiment de fangs.

El procediment del sedimentador és separar per acció de la gravetat les matèries sòlides en l'aigua bruta (9).

Si separem els tipus de sedimentació segons com interaccionen les partícules, hi ha 4 tipus de sedimentació: sedimentació discreta, sedimentació floculenta, sedimentació zonal o retardada, sedimentació de compressió.

El tipus de sedimentació que s'utilitza en el tractament primari és la sedimentació discreta, aquest es duu a terme mitjançant desorradors, que poden ser rectangulars o circulars. L'objectiu d'aquest tipus de sedimentació és extreure les sorres per tal de protegir els elements posteriors (bombes, vàlvules i canonades) evitant les incrustacions.

L'aigua que surt del desbast s'introdueix en el decantador o desorrador, on es deixa el temps suficient per que les partícules es dipositin al fons.

A continuació a la figura 2.14 es mostra un esquema d'un decantador circular:

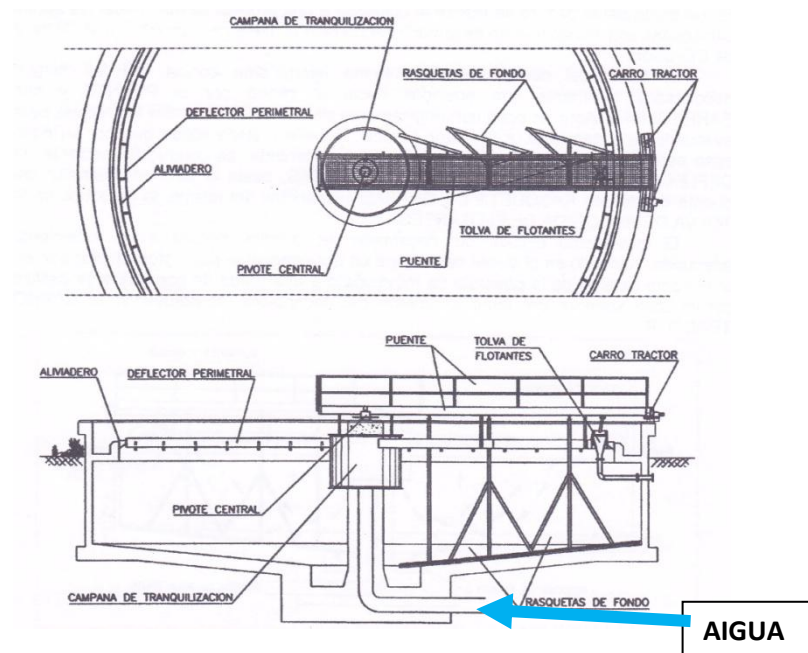


Figura 2.14 Decantador circular (Font: ref(9))

A continuació es mostra dues imatges del decantador primari que utilitzen en l'EDAR de Manresa, es mostra un decantador buit per que puguem veure l'estructura d'aquest:



**Figura 2.15** Decantador primari de l'EDAR de Manresa. (Font: Pròpia)



**Figura 2.16** Decantador primari buit de l'EDAR de Manresa (Font: Pròpia)

Els deflectors s'utilitzen perquè no s'hi generin corrents. En els decantadors circulars l'aigua es introduïda per la part central (veure fletxa blava). L'aigua clarificada es recull pels costats del decantador. Les rascletes són les encarregades de extreure els sòlids dipositats en el fons.

Les rascletes de fons tenen com objectiu recollir del fons totes aquelles partícules que s'han dipositat al fons. Aquestes rascletes es mouen contínuament per tota la superfície del dessorrador. Aquest moviment porta associat un cert consum energètic.

La tècnica de flotació s'utilitza per a separar els sòlids de baixa densitat o partícules immiscibles en l'aigua, greixos, olis, fibres poc denses i espessiment de fangs de tipus biològic.

A conseqüència d'això no es una tècnica que s'utilitzi molt a les EDAR, tot i que hi ha certes EDAR que l'utilitzen, s'utilitza més a les EDAR de tipus industrial.

## **2. Tractament secundari**

El tractament secundari és aquell tractament que té com a objectiu la reducció de la matèria orgànica biodegradable ( $\text{DBO}_5$ ) de l'aigua, mitjançant microorganismes. Aquests microorganismes com a resultat del seu metabolisme aconsegueixen oxidar la matèria orgànica. La matèria orgànica resident en l'aigua és el substrat de la biomassa, conté els components necessaris que necessiten pel seu creixement.

El tractament secundari depèn de diversos paràmetres, tals com: substrat i nutrients, oxigen, temperatura, pH i substàncies inhibidores. Tots aquests paràmetres han de ser controlats en el procés biològic per aconseguir la major eliminació de matèria orgànica possible.

Hem de controlar la necessitat d'oxigen que la biomassa requereix, que dependrà del tipus de microorganisme que la formi. Els microorganismes poden ser: aerobis, anaerobis, o anaerobis facultatius. Els aerobis són aquells que necessiten una certa quantitat d'oxigen per a realitzar l'oxidació de matèria orgànica, ja que és l'oxigen el que utilitzen com a acceptor final d'electrons. Els anaerobis només creixen i es desenvolupen en absència d'oxigen. Anaerobis facultatius són aquells que si hi ha oxigen l'utilitzen com a acceptor final d'electrons, i sinó, utilitzen altres components. Per tant segons la necessitat d'oxigen que requereix la biomassa tindrem processos aerobis, anaerobis o anòxics (processos amb poca quantitat d'oxigen).

De tractaments secundaris n'hi ha de diferents tipus: tractament per fangs activats, tractament de biomassa fixada i tractament de baix cost. A continuació explicarem el tractament per fangs activats i el tractament de biomassa fixada (Filtres percoladors i Biodiscs) ja que són aquest tres els que trobem en les estacions depuradores que es presenten en el cas d'estudi.

- **Tractament per Fangs Activats**

Aquest és un procés biològic aerobi, que consta d'un reactor biològic i un decantador secundari. En el reactor resideix la biomassa, que es troba en suspensió en forma de flocs, i aquesta és alimentada per l'aigua residual. Després del reactor biològic es troba el decantador que té com objectiu separar l'aigua depurada, com a conseqüència es formen uns fangs. Part dels fangs es tornen a introduir al reactor biològic per tal de mantenir una concentració constant i elevada de biomassa. La biomassa que resideix en el reactor no és introduïda, sinó, que es donen les condicions òptimes perquè aquesta es desenvolupi.

Aquest tractament requereix una aireació continuada a més d'una agitació constant, aquests dos processos provoquen un elevat consum d'energia, per tant un gran cost.

El consum energètic degut a l'aireació és variable segons als diferents tipus d'aireació. Per exemple, un tipus d'aireació és mitjançant l'agitació, un altre és a partir de difusors al interior de tanc, aquests dos tipus d'aireació al ser tècniques diferents, tenen un consum energètics diferents.

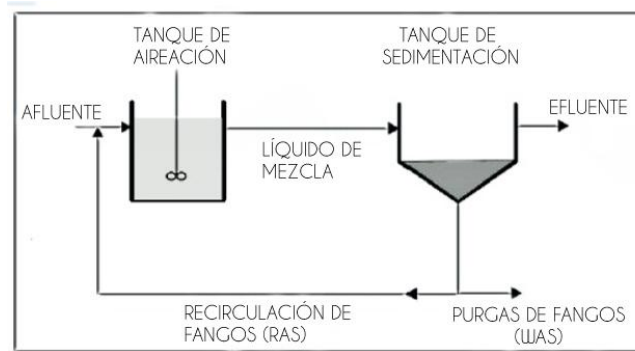


Figura 2.17 Esquema del tractament de fangs activats. (Font: ref(10))

El procés de sedimentació que porta associat el tractament secundari, s'anomena decantador secundari i és un tranc anomenat clarificador, aquest sol ser un decantador circular on l'aigua es introduïda pel centre, i l'anomenat clarificat surt per els voltants. El clarificador té una rasqueta de fons que recull els sòlids dipositats en el fons del decantador i una rasqueta en la part superior que recull el sobrenedant.

A continuació es mostra el sedimentador secundari que hi ha en l'estació depuradora de Manresa.



Figura 2.18 Sedimentador secundari de l'EDAR de Manresa (Font: Pròpia)

- **Tractament per Biomassa Fixada**

Els tractaments de biomassa fixada són aquells on la biomassa resideix adherida en un suport inert formant una capa anomenada biopel·lícula o biofilm. Es forma fang quan en la part interna del biofilm ja no hi arriba el substrat, fet que provoca el desprendiment d'aquest. Aquest biofilm està dividit en una part on resideix en els microorganismes aerobis (la part exterior), i la part anaeròbia (la part interior).



### ✓ Filtres Percoladors

Es basen en un material inert, on hi ha el biofilm, pel qual es fa passar l'aigua residual. Aquest material inert es troba repartit en un extensa àrea i l'aigua s'introdueix a partir d'uns ruixadors que es troben en la part superior i roten per a la correcta repartició de l'aigua per tot el filtre.

Aquests filtres es troben en l'exterior, tal i com es mostra a la figura 2.19, per tant l'aireació és natural, no hi ha necessitat d'introduir oxigen cosa que suposa una elevada reducció del cost d'operació.

L'aigua recorre el filtre de manera descendent i es recull en la part inferior d'aquest. Seguidament, l'aigua filtrada s'envia cap a un decantador secundari. La necessitat energètica d'aquest sistema de tractament secundari és deguda a la necessitat de bombejar l'aigua per a la seva introducció al filtre, però aquest cost energètic és pràcticament nul (11).



Figura 2.19 Filtre percolador (Font: ref(11))

### ✓ Biodiscs

Els biodiscs es basen en un disc de plàstic, on la biomassa està adherida a la seva superfície, que gira al voltant d'un eix. L'aireació és produïda de manera natural a causa del moviment giratori del disc, per tant de nou no es necessita aireació forçada. Aquest moviment, es produïx a contracorrent de l'aigua d'alimentació.

El disc es troba en un tanc on queda submergit parcialment en l'aigua a tractar, així es produïx el contacte de la biomassa amb l'aigua a tractar. Aquest tractament també requereix un decantador secundari després del biodisc.

En aquest cas la despesa energètica que té aquest procés només és la rotació del disc, que és necessària pel contacte d'aquest amb l'aigua a més de per a la seva aireació.

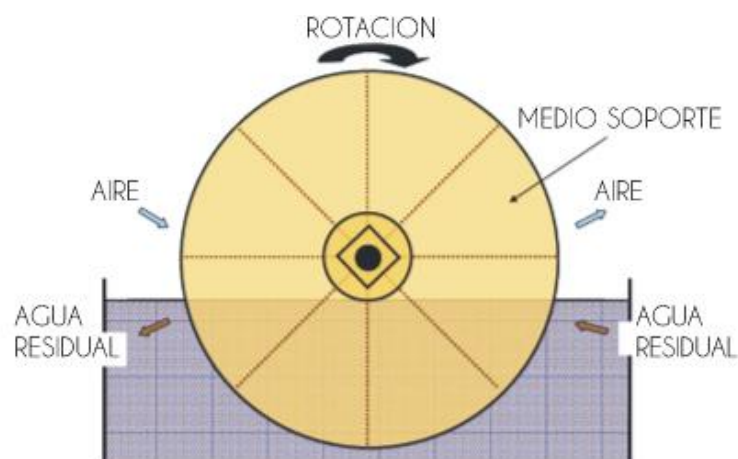


Figura 2.20 Biodisc (Font: ref(10))

### 3.Tractament terciari

Com hem dit abans, el tractament terciari s'utilitza per a l'eliminació de matèria no orgànica biodegradables i ions metàl·lics, que són components que no es poden separar en el tractament primari ni en el secundari.

El tractament terciari no s'aplica sempre, sinó que només s'aplica per augmentar la qualitat de l'aigua. Una qualitat necessària quan l'objectiu del tractament és la reutilització de l'aigua.

Les tècniques utilitzades en aquest tractament són: Adsorció, bescanvi iònic, osmosi inversa i altres tecnologies de membranes.

#### ❖ Consum energètic de les EDAR

Com hem dit anteriorment, hi ha diverses operacions dins del tractament d'aigua residuals que consumeixen energia, a continuació es compararan quins tractaments són els que suposen un major consum energètic.

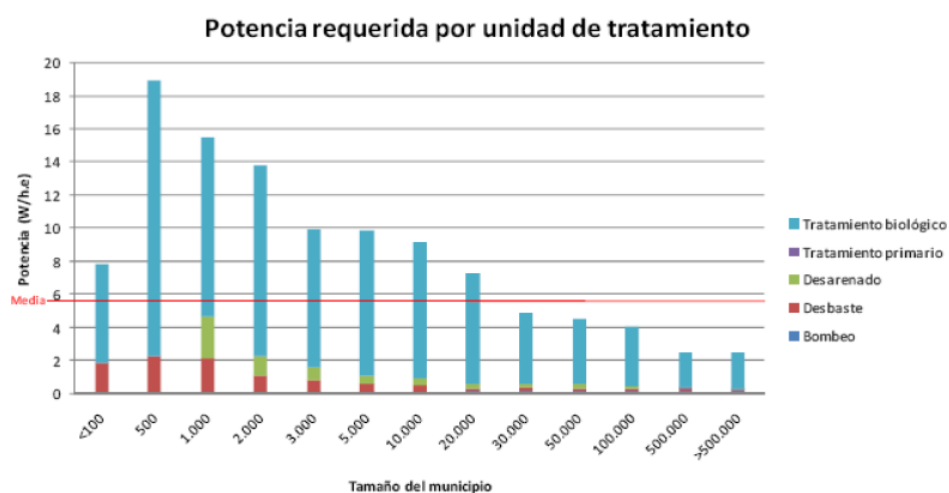


Figura 2.21 Potència necessària per unitat de tractament (Font: ref(12))



Tal i com es mostra a la figura 2.21, el tractament que suposa un consum energètic superior és el tractament secundari (12), aquest és causant de quasi tot el consum energètic de les EDAR, i per això és el tractament que més s'ha de tenir en compte per estudiar el nexe aigua-energia.

Com hem dit anteriorment, el consum energètic del tractament secundari per fangs activats és degut a la necessitat d'aireació i de l'agitació.

Com que el tractament secundari per biomassa fixada no té la necessitat d'aireació podem considerar que aquest tipus de tractament secundari teòricament tindrà menys consum energètic.

### Digestió anaeròbica

En algunes estacions depuradores tenen incorporat un sistema de digestió anaeròbica.

Aquest sistema s'implanta en una EDAR per tal d'abastir un 60% de l'energia consumida per les EDAR, fet important ja que aquestes EDAR són més eficients energèticament que aquelles que no tenen incorporat aquest sistema (12).

A continuació es mostra un esquema de la implantació d'un digester anaeròbic en una EDAR urbana:

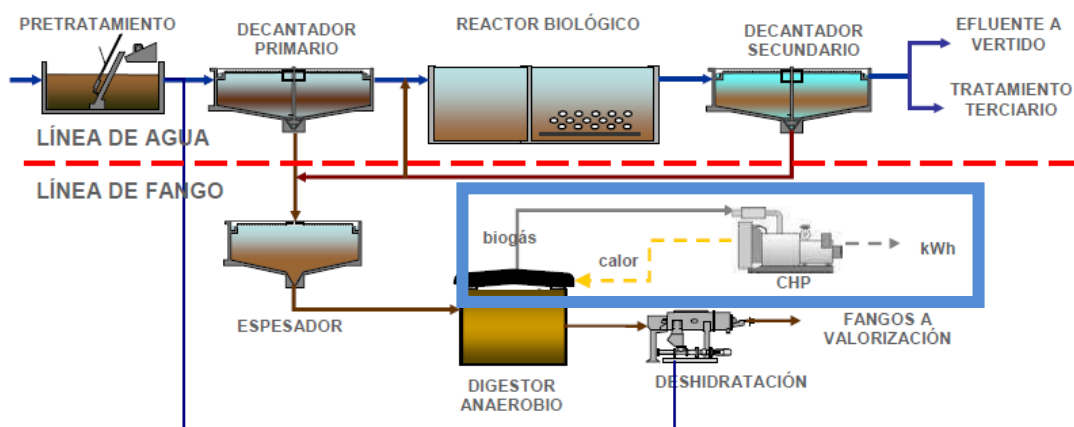


Figura 2.22 Esquema etapes del procés de tractament d'aigües residuals amb la implantació d'un digester anaeròbic. (Font: ref(12))

La digestió anaeròbica es troba dins del tractament de fangs, es basa en utilitzar els fangs per tal de generar Biogàs, que no deixa de ser una forma d'energia.

Tot i que en la figura 2.22 els fangs que entren al digester anaeròbic siguin els provinents del tractament primari, cal destacar que també es poden tractar-se en el digester fangs provinents del tractament secundari.

Els fangs que es generen en el decantador primari passen a un espessidor, que els hi extreu l'aigua, per tal de que estiguin més concentrats, després aquests són introduïts al digester anaeròbic.

La digestió anaeròbica és un procés biològic pel qual la matèria orgànica biodegradable és assimilada per una sèrie de microorganismes específics en absència d'oxigen dissolt. Com a conseqüència del metabolisme d'aquests microorganismes es genera Biogàs. El biogàs és una barreja de gasos amb 2/3 parts de gas metà.

La digestió anaeròbica té tres fases diferenciades :

1. **Hidròlisis** de sòlids orgànics a àcids orgànics, d'aquesta etapa es pot encarregar diferents tipus de microorganismes (facultatius, aeròbics, etc.)
2. **Fermentació** es passa dels monòmers a àcids orgànics volàtils (VFAs), com a conseqüència de microorganismes de tipus facultatiu.
3. **Acetogènesi** on es genera bàsicament àcid acètic, tot i que també es genera  $\text{CO}_2$  i hidrogen, a causa del metabolisme dels microorganismes acetogènics que són microorganismes de tipus facultatiu.
4. **Metanogènesi** aquesta fase és una degradació anaeròbica on es trenca l'àcid acètic per formar metà i diòxid de carboni a causa dels microorganismes metanògens acetoclàstics o a causa dels microorganismes metanògens hidrogenotròfics aconseguixen reduir el  $\text{CO}_2$  per a reduir l'hidrògen en metà i aigua. Els microorganismes metanògens són anaeròbics estrictes, així que, aquests procés ha d'esdevenir-se en absència total d'oxigen.

Totes aquestes fases s'esdevenen a l'interior del digestor anaeròbic, que com a resultat obté una barreja de gasos anomenada Biogàs i una certa quantitat de fangs.

La part que més interès té des de el punt de vista energètic, és la generació d'energia a partir d'aquest biogàs, (veure quadre blau de la figura 2.22). A partir del biogàs es pot obtenir energia i aquesta aplicar-la a altres tractaments on l'EDAR que requereix energia, de manera que l'EDAR no hagi de consumir el total d'energia elèctrica que necessita, per tant, aconseguir una EDAR energèticament més eficient (12).

## 2.4 Energia de l'aigua

L'aigua en general i especialment l'aigua residual conté energia en diferents formes: energia cinètica, energia potencial, energia tèrmica i energia química.

A continuació explicarem cadascuna d'aquestes formes d'energia:

### 2.4.1 Energia cinètica

L'energia cinètica que conté l'aigua depèn de diferents paràmetres: del ritme en el que transcorre l'aigua, de la inclinació i de la llargada del recorregut (13). Depenent d'aquests paràmetres es pot aconseguir una elevada energia cinètica. Per exemple, l'energia cinètica de les aigües residuals és relativament petita ja que el flux de les aigües té un ritme de circulació baix.

### 2.4.2 Energia potencial

Si negligim les pèrdues de fricció podem afirmar que l'energia potencial és proporcional a l'alçada (13). Aquesta energia pot ser calculada a partir de la formula:

$$E_{pot} = mgh$$

On  $m$  és la massa (Kg)

On  $g$  és la gravetat ( $m/s^2$ )

On  $h$  és l'alçada (m)

L'energia potencial que conté l'aigua o l'aigua residual és negligible si la comparem amb l'energia tèrmica o química que pot arribar a contenir (13).

Per exemple l'energia potencial que conté l'aigua residual per una alçada de 50 m és de 19Wh/hab·d o 6,9kWh/hab·any, una energia petita per una alçada elevada.

El volum d'aigua residual podem considerar-lo d'entre 135-140 L/hab·dia (13):

$$\begin{aligned} E_{pot} &= 140 \frac{l}{hab \cdot dia} \cdot \frac{1m^3}{1000 l} \cdot \frac{1000 Kg}{1m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 50 m \\ E_{pot} &= 68670 \frac{J}{hab \cdot dia} \cdot \frac{1 kWh}{3,6 \cdot 10^6 J} = 0,019 \frac{kWh}{hab \cdot dia} \\ E_{pot} &= 0,019 \frac{kWh}{hab \cdot dia} \cdot \frac{1000 Wh}{1 kWh} = 19 \frac{Wh}{hab \cdot dia} \\ E_{pot} &= 0,019 \frac{kWh}{hab \cdot dia} \cdot \frac{365 dies}{1 any} = 6,9 \frac{kWh}{hab \cdot any} \end{aligned}$$

$$E_{pot} = 6,9 \frac{kWh}{hab \cdot any}$$

L'energia potencial és l'energia que aprofiten les centrals hidroelèctriques, aquestes aprofiten els salts d'aigua per a accionar les turbines hidràuliques per, finalment, obtenir electricitat.

### 2.4.3 Energia tèrmica

L'energia tèrmica de l'aigua es pot dir que és la forma d'energia més habitual en l'aigua, ja que aquesta té una elevada capacitat calorífica, per això hem de fer èmfasi en aquesta forma d'energia. L'energia tèrmica de l'aigua té un gran interès a causa del potencial de recuperació de la calor de l'aigua gris (aigua provinent de: la dutxa, del vàter i del rentavaixelles), calor per a diferents usos posteriors que pot representar un estalvi d'energia (13).

L'energia tèrmica es calcula a partir de l'expressió :

$$E_{term} = C_p \cdot m \cdot \Delta t$$

On  $m$  és la massa (Kg)

On  $C_p$  és la calor específica (Kcal/kg· K)

On  $\Delta t$  és el gradient de temperatura

L'energia tèrmica aconseguida per refredar 1 kelvin un litre d'aigua, correspon a l'energia potencial aconseguida per 1 litre d'aigua a una alçada de 426m. En aquests dos casos aconseguim la mateixa energia, per aquesta raó l'energia tèrmica és molt més importat que no pas les altres formes d'energia, ja que amb un canvi petit de gradient de temperatura, s'aconsegueix una elevada energia.

Si ens fixem amb l'aigua residual, un volum de 40L/hab·dia d'aigua gris, amb un gradient de temperatura de 30 K, l'energia tèrmica que aconseguim és de 509 kWh/hab·any, una energia molt elevada comparant-la amb l'energia potencial de 6kWh/hab·any aconseguida per l'aigua a una alçada de 50 m.

$$E_{term} = 1 \frac{Kcal}{Kg \cdot K} \cdot 40 \frac{l}{hab \cdot dia} \cdot \frac{1m^3}{1000 l} \cdot \frac{1000 Kg}{1m^3} \cdot 30K$$

$$E_{term} = 1200 \frac{Kcal}{hab \cdot dia}$$

$$E_{term} = 1200 \frac{Kcal}{hab \cdot dia} \cdot \frac{1000 cal}{1 Kcal} \cdot \frac{4,18 J}{1 cal} \cdot \frac{1 kWh}{3,6 \cdot 10^6 J} = 1,393 \frac{kWh}{hab \cdot dia}$$

$$E_{term} = 1,39 \frac{kWh}{hab \cdot dia} \cdot \frac{365 dies}{1 any} = 508,6 \frac{kWh}{hab \cdot any}$$

$$E_{term} = 508,6 \frac{kWh}{hab \cdot any} \approx 509 \frac{kWh}{hab \cdot any}$$

- **Recuperació de l'energia tèrmica**

L'aigua residual, exactament l'anomenada aigua gris, conté un elevat poder tèrmic, ja que es troba aproximadament entre 38-40 °C (13), aquesta calor normalment es perd en el recorregut pel clavegueram, ja que es barreja amb l'aigua de la pluja, fet que provoca la reducció de la seva temperatura. Per evitar la pèrdua d'aquesta calor es pot fer mitjançant bombes de calor o intercanviadors de calor.

- **Bombes de calor**

Una bomba de calor és un dispositiu que extreu la calor d'un fluid per cedir-la a l'altra fluid, de manera que escalfa un fluid i refreda l'altre. Les bombes de calor tenen un sistema de funcionament similar al d'una nevera, s'encarreguen d'extreure calor (Kcal) i no pas d'introduir fred. Hi ha diferents tipus de bombes de calor: bombes de calor aire-aire, aire-aigua, aigua-aire, aigua-aigua, terra-aire i terra-aigua.

La bomba de calor que ens interessa per extreure la calor de l'aigua residual i transferir-la a l'aigua de la xarxa que entra a la residència domèstica és la bomba de calor aigua-aigua. Aquesta bomba de calor farà augmentar la temperatura a l'aigua de la xarxa i reduir la temperatura de l'aigua residual (l'aigua gris) (13).

L'energia extreta de l'aigua per la bomba de calor ve donada per:

$$\Delta E = E_{ac} - E_{ap} = V \cdot d \cdot \Delta T \cdot C_p \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

On  $V$  és el volum d'aigua ( $m^3$ )

On  $d$  és la densitat de l'aigua ( $10^6 g/m^3$ )

On  $C_p$  és la calor específica de l'aigua ( $4,2 J/g^\circ C$ )

On  $\Delta T$  és el gradient de temperatura ( $^\circ C$ )

On COP és el coeficient d'eficiència de la bomba de calor i oscil·la entre 4 a 5.

$$COP = \frac{\text{Energia obtinguda}}{\text{Energia consumida}} = \frac{\text{Potència calorífica}}{\text{Potència consumida}}$$

On  $E_{ac}$  és l'energia adquirida

On  $E_{ap}$  és l'energia aplicada

Per exemple per  $1m^3$  d'aigua gris amb un gradient de temperatura de  $25^\circ C$  i un COP de 4, obtenim:

$$\begin{aligned} \Delta E = E_{ac} - E_{ap} &= 1m^3 \cdot 10^6 g/m^3 \cdot 25^\circ C \cdot 4,2 J/g^\circ C \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) \\ &= 78,75 \cdot 10^6 J = 78,75 MJ \cdot \frac{1 kWh}{3,6 MJ} = \mathbf{21,87 kWh} \end{aligned}$$

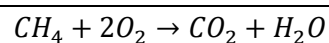
Per tant, per  $1m^3$  d'aigua en aquestes condicions obtenim 21,87 kWh d'energia, que és una quantitat d'energia considerable, per això aquesta tècnica és tan útil.

#### 2.4.4 Energia química

L'energia química de l'aigua es pot determinar per la quantitat de carboni que conté l'aigua, aquest carboni s'estima a partir del contingut de matèria orgànica, concretament del paràmetre DQO (demanda química d'oxigen) (13).

El paràmetre DQO mesura l'oxigen necessari per aconseguir l'oxidació de la matèria orgànica, tot i que sofreix interferències de la matèria inorgànica que també s'oxida. En definitiva, el paràmetre DQO mesura la quantitat de matèria orgànica que conté l'aigua i s'expressa en mg/L d'oxigen.

Podem calcular l'oxigen necessari per un mol de metà:



$$1 \text{ mol } CH_4 \cdot \frac{2 \text{ mols } O_2}{1 \text{ mol } CH_4} \cdot \frac{32 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } O_2} = 64 \text{ g } O_2$$

Per tant obtenim la relació:  $\mathbf{1 \text{ mol } CH_4 / 64 \text{ g } O_2}$

Per tant, gràcies a l'anterior expressió, a partir del valor que obtinguem de la DQO podem saber la quantitat de metà equivalent conté l'aigua.

Per saber el poder calorífic del metà hem buscat a les taules de *Calors normals de combustió* (veure **Annex G**), ja que  $P_{CH_4} = -\Delta H^{\circ}_{CH_4}$ . En aquestes taules hem trobat el valor de  $212,789 \text{ Kcal/mol } CH_4$ . Sabent que en condicions normal el volum d'un mol és 22,4 L podem fer el següent canvi d'unitats:

$$212,789 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol } CH_4} \cdot \frac{1 \text{ mol } CH_4 \text{ a C.N.}}{22,4 \text{ L } CH_4 \text{ a C.N.}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} = 39.709,62 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 CH_4}$$

A partir d'aquest valor de potència calorífica, realitzem el següent càlcul:

$$39.709,62 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}} = 11,03 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

Coneixent la relació anterior  $\left(1 \text{ mol } CH_4 / 64 \text{ g } O_2\right)$ , el poder calorífic del metà  $\left(11,03 \text{ kWh/m}^3\right)$  i coneixent la densitat del metà és  $\left(0,656 \text{ Kg/m}^3\right)$  fem el següent càlcul:

$$\frac{1 \text{ mol } CH_4}{64 \text{ g } O_2} \cdot \frac{16 \text{ g } CH_4}{1 \text{ mol } CH_4} \cdot \frac{1 \text{ Kg } CH_4}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{0,656 \text{ Kg}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \frac{24,39 \text{ l } CH_4}{64 \text{ g } O_2} = 0,38 \text{ l } CH_4 / \text{g } O_2$$

$$0,38 \text{ l } CH_4 / \text{g } O_2 = 0,38 \text{ m}^3 CH_4 / \text{Kg } O_2$$

$$0,38 \frac{\text{m}^3 CH_4}{\text{Kg } O_2} \cdot 11,03 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 CH_4} = 4,2 \frac{\text{kWh}}{\text{Kg } O_2}$$

$$4,2 \frac{\text{kWh}}{\text{Kg } O_2}$$

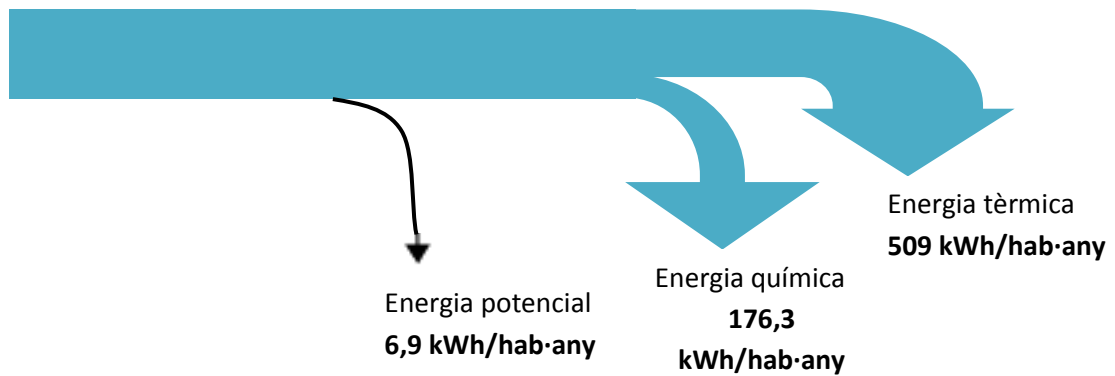
Aquesta relació ens permet obtenir la quantitat d'energia química que conté l'aigua a partir de la DQO de l'aigua.

Pel cas d'una aigua que conté  $115 \text{ g } O_2 / \text{hab} \cdot \text{dia}$ , l'energia química que contindria, seria:

$$E_{química} = 4,2 \frac{\text{kWh}}{\text{Kg } O_2} \cdot \frac{1 \text{ Kg } O_2}{1000 \text{ g } O_2} \cdot 115 \frac{\text{g } O_2}{\text{hab} \cdot \text{dia}} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}} = 176,3 \frac{\text{kWh}}{\text{hab} \cdot \text{any}}$$

#### 2.4.5 Càlcul de l'energia continguda en l'aigua residual

A continuació fem una representació dels tipus d'energia continguda en l'aigua amb les següents condicions: volum d'aigua gris de 40 L /hab·dia, alçada de 50 m, DQO=115g /hab·dia,  $\Delta t = 40^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 2.23** Esquema de l'energia continguda en un tipus concret d'aigua (*Pròpia*)

Finalment en aquestes condicions l'aigua comporta un total d'energia de 692,2 kWh/hab·any d'energia.

Podem concloure que la major part de l'energia emmagatzemada en l'aigua està en forma d'energia tèrmica, tal i com es pot veure a la figura 2.23.

El valor de l'energia potencial i l'energia tèrmica han estat calculats anteriorment. (Veure apartat 2.4.2 i 2.4.3).

Hem de considerar que part de l'energia tèrmica de l'aigua residual es perd pel clavegueram, per tant el sistema implantat per tal de captar aquesta energia s'ha d'instal·lar el més a prop possible de la font d'aigua residual per tal de que no hi hagi cap pèrdua. En canvi, l'energia química no es perd en el transport de l'aigua residual pel clavegueram, i s'ha d'aprofitar en la pròpia EDAR. L'energia cinètica de l'aigua residual pot ser negligida i l'energia potencial d'aquesta seria interessant en edificis d'elevades alçades o topografies apropiades. (13)

L'aigua residual conté una elevada quantitat de matèria orgànica, a partir d'aquesta es pot obtenir energia. L'aigua residual es transporta fins a una planta de tractament d'aigües residuals on es recupera l'energia química de diferents formes (13):

1. Generació de biogàs
2. Obtenció de vapor mitjançant la combustió dels fangs (Accionament de turbines amb el vapor generat per a la generació d'electricitat)

## **2.5 El nexe aigua-energia en el cas de l'aigua residual.**

En el cas de les aigües residuals, el nexe aigua-energia ve donat en els dos sentits:

- ✓ La necessitat d'energia pel tractament de l'aigua residual.
- ✓ L'energia continguda en l'aigua residual, i que pot proporcionar en diferents formes.

Tal i com hem vist en apartats anteriors, el tractament de les aigües residuals suposa un consum energètic (veure apartat 2.3.3) però d'altra banda hi ha energia que conté l'aigua residual que pot ser extreta per un altre us posterior.

### 2.5.1 Energia continguda en l'aigua residual

Hem de tenir en compte que la reutilització de l'energia de l'aigua residual pot permetre la reducció de demanda energètica de les plantes depuradores necessària per tractar les aigües residuals (13). Tal i com s'ha vist en l'apartat 2.4 hi ha diferents formes d'obtenir energia a partir de l'aigua. En el cas de l'aigua residual serien tres formes d'energia:

- **Energia potencial**

L'energia potencial és l'energia que conté l'aigua com a conseqüència de l'alçada. Aquesta energia no està en totes les aigües residuals, ja que depèn de la posició de l'estació depuradora.

L'energia potencial de l'aigua residual, un cop tractades, pot ser aprofitada per les turbines hidràuliques (les turbines Kaplan, Pelton i Francis). Aquestes turbines, a partir de l'aigua residual generen electricitat. (13)

Com a inconvenient d'aquesta recuperació d'energia, hem de tenir en compte, que tot i que l'aigua que s'introdueix a les turbines és aigua tractada, pot tenir impureses que poden provocar una deterioració de l'equipament de la central hidroelèctrica, generant problemes de manteniment.

- **Energia tèrmica**

L'aigua residual domèstica, exactament l'aigua residual gris, té un elevat poder tèrmic (13). Com hem dit anteriorment, aquesta temperatura es perd en el clavegueram, s'hauria d'aconseguir captar aquesta energia abans de que es dissipï en el transcorregut de les aigües residuals.

La recuperació d'aquesta energia tèrmica, només és possible amb la separació de l'aigua residual domèstica i l'introducció d'aquesta en un intercanviador de calor o en una bomba de calor.

- **Energia química**

La matèria orgànica continguda en l'aigua residual pot ser utilitzada per a la generació d'energia elèctrica (13). La matèria orgànica de l'aigua residual queda retinguda en els llots d'aquesta, per tant, la recuperació de l'energia química es troba en el tractament de fangs de les estacions depuradores. Recordem, que la matèria orgànica queda reflectida en dades de kg de DQO (demanda química d'oxigen).

La generació d'energia elèctrica, a partir de la matèria orgànica de l'aigua residual, es realitza bàsicament per dos camins (13):

- Generació de Biogàs.
- Generació de vapor a partir de la combustió de llots.

El Biogàs és un combustible, per tant, és una forma d'energia. El biogàs es forma a partir de la digestió anaeròbica de microorganismes que com a conseqüència del seu metabolisme,



generen metà. Els passos a seguir per a obtenir el Biogàs han estat explicats anteriorment. (veure apartat 2.3.3)

La incineració de llots provinents de l'aigua residual, genera un vapor, aquest acciona unes turbines de vapor que generen energia elèctrica.

A continuació es mostren dues formes de recuperació d'energia química.

#### A. A partir del Biogàs.

A continuació mostrem el balanç energètic habitual per una estació depuradora amb sedimentació preliminar, nitrificació i desnitrificació, i tractament anaeròbic dels fangs.

Assumim que la carga de DQO de l'afluent d'entrada de l'estació depuradora és 42 Kg/hab-any, dels quals un 45% d'aquest (18,9 Kg DQO/hab-any ) es queda retintut en els fangs, i un 55% (23,1 Kg DQO /hab-any ) es perd per processos de respiració o queda retintut en l'efluent. (13)

Assumint una taxa de degradació del 55% en la digestió anaeròbica, només 11kg DQO/hab-dia es transformat a metà en aquesta fase. La quantitat de DQO no digerida roman en el fang digerit.

Considerant una taxa de generació d'electricitat a partir del Biogàs del 32%, l'energia aconseguida és de 12kWh/hab-any.

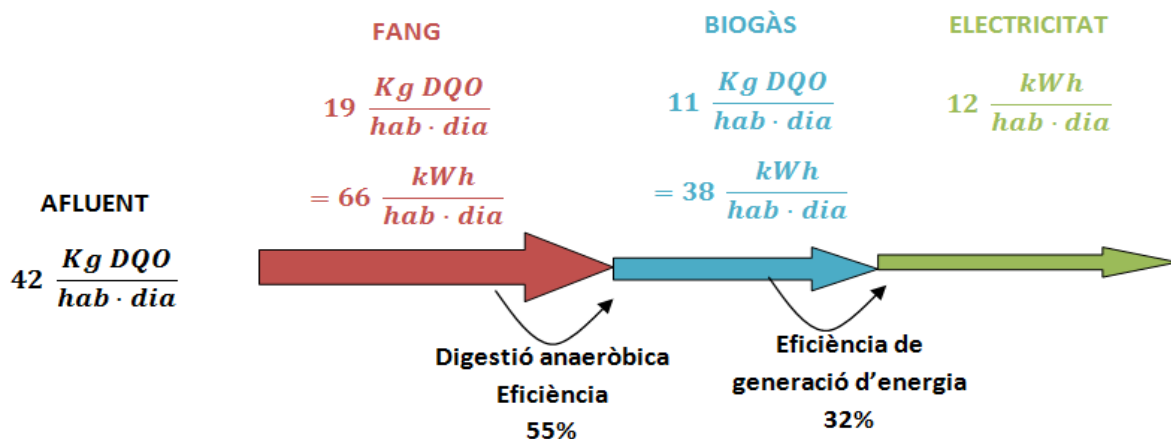


Figura 2.24 Energia aconseguida a partir de l'aigua residual a una EDAR concreta. (Font: Pròpia)

Els valors que apareixen a la figura 2.24 han estat arrodonits.

Per tant, podem considerar que per una estació depuradora que utilitzi un digester anaeròbic per l'obtenció d'energia i tingui un efluent podrà aconseguir generar 12kWh/hab-any. Una energia que es podrà utilitzar per aquelles zones de l'estació depuradora que més energia necessitin.(13)

#### B. A partir de l'obtenció de combustible.

L'obtenció d'un combustible a partir de l'aigua residual també és una altra forma d'obtenir energia de l'aigua. A partir de l'aigua residual es pot obtenir Biogàs i Biodiesel.

L'obtenció de Biogàs, en definitiva és la recuperació de l'energia química que conté l'aigua (veure apartat 2.4.4).

L'obtenció de Biogàs, és una tècnica que s'utilitza en moltes depuradores. Aquesta tècnica ha estat explicada en l'apartat de l'energia per l'aigua. (veure apartat 2.3.3).

L'obtenció de Biodiesel a partir de l'aigua residual és una tècnica nova que es basa en l'obtenció de Biodiesel mitjançant la escuma generada en les estacions depuradores d'aigües residuals (14).

L'escuma generada és rica en greixos animals i vegetals, sabons, olis minerals, ceres, residus d'aliments i materials plàstics. Tots aquests materials són útils per la generació del combustible. Es creu que al menys el 60% de la matèria obtinguda mitjançant l'escuma és material lipídic, i aquest és a partir del qual s'obté el Biodiesel (14).

L'utilització d'aquesta tècnica permet generar un combustible a partir d'un material residual, fet que suposa diversos beneficis: s'aprofita l'energia continguda en l'aigua residual i a més, es genera un combustible que és més respectuós amb el medi ambient que els combustibles fòssils.

Aquest sistema de generació d'energia a partir de la generació de Biodiesel podria complementar la tècnica de generació de Biogàs, ja que, aquest suposa diversos problemes: la generació d'espuma al digester, fet que provoca que no es pugui obtenir el Biogàs amb el màxim rendiment. Aquest impediment suposa que la gran majoria de plantes depuradores desviïn les espumes generades a un abocador, provocant un impacte medioambiental (14).

### **2.5.2 Exemples de recuperació d'energia de l'aigua residual**

A continuació, es mostren diversos exemples de recuperació tant d'energia potencial com d'energia tèrmica, com d'energia química.

#### **❖ Exemple de recuperació de l'energia química: Planta de tractament i recuperació de llots de Hong Kong.**

És la planta de tractament d'aigua residual i recuperació de llots més gran del món, donant servei a 7,2 milions de persones (15). Aquesta planta és molt innovadora, ja que, no genera abocaments d'aigües residuals, i a més, genera electricitat a partir dels llots.

És la major planta d'incineració de llots del món, ocupant 7 hectàrees i és capaç de tractar 2.000 tones mètriques de llots, procedents de 11 depuradores (15). La planta dona una solució neta i ecològica, ja que compleix amb els criteris mediambientals del govern de Hong Kong.

La construcció de la planta va tardar 4 anys i es va encarregar l'empresa Veolia Water Technologies (15).

La planta compta amb diversos equips d'incineració. Aquests equips incineren els llots procedents de les aigües residuals, i conseqüentment, es produeix un vapor. Aquest vapor és enviat a unes turbines de vapor, on es genera electricitat. Per tant, aquí podem veure el nexe

aigua residual-energia, ja que, a partir dels llots, que procedeixen d'aigües residuals, es genera electricitat.

L'electricitat generada pel procés de tractament de llots permet cobrir la demanda d'energia de l'instal·lació, a més d'una planta dessaladora d'aigua marina que produeix aigua pel procés.

El tractament de llots, a part de generar electricitat, permet la reducció de residus finals un 90% (15), protegint el medi ambient.

La generació d'energia renovable a partir de residus, l'autosuficiència energètica, la baixa emissions de gasos de combustió i la reducció de residus resultants, fa que aquesta estació sigui considerada com una estació pionera i un exemple per a les estacions del futur.



Figura 2.25 Planta de tractament i recuperació de Llots de Hong Kong (Font: ref(15))

❖ Exemple de recuperació d'energia potencial: generació d'energia hidroelèctrica d'aigua residual

L'energia que conté l'aigua residual és bàsicament energia tèrmica i energia química tot i que, si es donen les condicions òptimes, també es pot aprofitar l'energia potencial.

La manera d'aprofitar l'energia potencial de l'aigua residual es fa a partir del seu aprofitament hidroelèctric, per tant, a partir de la introducció d'aquesta aigua en una central hidroelèctrica per produir electricitat.

Per tal d'aconseguir energia hidroelèctrica mitjançant aigua residual s'ha de donar la condició de que la depuradora estigui situada a una alçada suficient com per proporcionar que l'aigua disposi d'una certa alçada.

Un exemple d'utilització d'energia hidroelèctrica de l'aigua residual, és l'EDAR de Buenos Aires de Santa Cruz de Tenerife. L'aigua tractada que surt d'aquesta depuradora, abans d'abocar-la al mar, s'envia a una petita central hidroelèctrica que aprofita l'energia potencial de l'aigua.

L'EDAR es troba a una cota de 110m, mentre que la central hidroelèctrica es troba a nivell del mar. L'EDAR tracta un cabal de 45.000 m<sup>3</sup>/dia (16). A continuació calcularem l'energia potencial que obté aquesta quantitat d'aigua a aquesta alçada.

Aquest càlcul es realitzarà amb el procediment presentat en l'apartat d'energia potencial de l'aigua. (veure apartat 2.4.2):

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{pot} = 45.000 \frac{m^3}{dia} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 110m$$

$$E_{pot} = 4,85 \cdot 10^{10} \frac{J}{dia}$$

$$E_{pot} = 4,85 \cdot 10^{10} \frac{J}{dia} \cdot \frac{1 kWh}{3,6 \cdot 10^6 J} = \mathbf{13.488,75 kWh/dia}$$

L'energia de l'aigua que serà aprofitada per la central de bombeig és de 13.488,75 kWh diaris, una quantitat d'energia elevada que dóna sentit a la utilització d'aquesta aigua per a l'aprofitament energètic.

L'emplaçament de l'estació depuradora és la causa de que l'aigua contingui tanta energia. A continuació es mostra una imatge on es mostra la posició de l'EDAR i de la central hidroelèctrica.



Figura 2.26 Mapa de la situació de l'EDAR i de la centrals mini-hidroelèctrica (Font: ref(16))

La central hidroelèctrica s'instal·la per tal de proporcionar l'energia elèctrica suficient a l'estació depuradora, de manera que aquesta sigui lo més auto-suficient possible. Fet molt important, ja que si totes les EDAR tinguessin l'oportunitat d'aprofitar l'energia potencial de l'aigua residual no es necessitaria una quantitat tant elevada d'energia pel tractament d'aigües residuals.

La central hidroelèctrica instal·lada té un cabal de disseny de 30.000 m<sup>3</sup>/dia i aprofita un salt net de 91,3 m (16), per tant per qüestions de disseny, la central hidroelèctrica no aprofita tot

el cabal d'aigua tractada, i tampoc els 110m d'alçada total. Conseqüentment, calcularem l'energia potencial d'aquesta quantitat d'aigua a aquesta alçada, i la compararem amb l'energia potencial trobada anteriorment:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{pot} = 30.000 \frac{m^3}{dia} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 91,3 m$$

$$E_{pot} = 2,69 \cdot 10^{10} \frac{J}{dia}$$

$$E_{pot} = 2,69 \cdot 10^{10} \frac{J}{dia} \cdot \frac{1 kWh}{3,6 \cdot 10^6 J} = \mathbf{7.463,77 kWh/dia}$$

Per tant, l'energia de l'aigua que aprofita la central hidroelèctrica és de 7.463,77 kWh/dia, una energia que és pràcticament la meitat de la màxima energia que es podria extreure de l'aigua residual si es tractés tota l'aigua i es mantingues l'alçada de 110m, fets que a causa del disseny de l'instal·lació de la central no s'han pogut mantenir.

La central serà una central mini-hidroelèctrica, que utilitza una turbina Pelton que és una turbina amb unes característiques explicades amb anterioritat (veure apartat 2.5.3) amb una potència generada bruta de 310,79 kW i treballant 8.760 hores/any (16), el que suposa una generació d'energia anual de :

$$Energia generada = 310,79 kW \cdot \frac{8760 hores}{any} = \mathbf{2.722.520 kWh/any}$$

L'estació depuradora de Buenos Aires, té un ratio de 0,43 kWh/m<sup>3</sup> d'aigua tractada (16), observant aquest valor podem dir que no consumeix una elevada quantitat d'energia per m<sup>3</sup> d'aigua tractada, comparant-la amb les EDAR estudiades en el cas d'estudi. (veure apartat 3.4).

Si el cabal d'aigua és de 45.000 m<sup>3</sup>/dia (16), podem calcular l'energia que consumeix l'EDAR.

$$45.000 \frac{m^3}{dia} \cdot 0,43 \frac{kWh}{m^3} \cdot \frac{365 dies}{1 any} = 7.062.750 kWh/any$$

Aquest consum energètic se li ha de sumar el consum energètic de les bombes que transporten l'aigua residual que és 157. 680 kWh/any (16). El que suposa un consum total de:

$$Consum total EDAR = \mathbf{7.220.430 kWh/any}$$

Si al consum energètic de les EDAR li restem l'aportació d'energia de la central mini-hidroelèctrica, el consum resultant és 4.497.920 kWh/any. Per tant, la instal·lació de la central mini-hidroelèctrica suposa un estalvi energètic de l'estació depuradora d'un 28%, fet que li suposa un estalvi econòmic de 170.000€/l'any (16).

Com a inconvenients de la implantació de la central hidroelèctrica és que hem de tenir en compte que l'aigua que s'introdueix a la central, tot i que ha estat prèviament depurada, pot

tenir impureses que poden fer malbé el conjunt de canonades, bombes i turbina que comporten la central mini-hidroelèctrica.

Com a conclusió podem dir que l'aprofitament energètic que es realitza en aquest cas és molt atractiu i que si aquest es pogués implantar en altres depuradores podríem aconseguir que l'energia necessària pel tractament de l'aigua residual es redueixi notòriament.

❖ Exemple de recuperació d'energia tèrmica: centrals termoelèctriques refrigerades amb aigua residual.

Com hem explicat amb anterioritat, les centrals termoelèctriques són causants d'un elevat consum d'aigua, per tant, en aquest cas, és necessari l'aigua per l'obtenció d'energia.

En les centrals termoelèctriques, l'ús de l'aigua que suposa més consum és l'aigua per la refrigeració, aquesta aigua pot provenir del riu o de una torre de refrigeració. (veure apartat 2.5.2).

Un sistema que s'està començant a implementar és l'ús d'aigua residual per a la refrigeració de centrals termoelèctriques (17). Fet que suposaria l'ús d'aigua residual per l'obtenció d'energia, tot i que seria indirectament.

Aquesta nova tècnica suposaria un elevat estalvi d'aigua provinent de fonts d'aigua dolça com el riu, millorant la conservació de les fonts l'aigua potable i aconseguint una disminució de la petjada hídrica que suposa la generació d'energia elèctrica a partir de les centrals termoelèctriques.

Aquest sistema de refrigeració està en vies desenvolupament. En 2007 es van identificar 57 tipus d'instal·lacions que utilitzaven aquest tipus de refrigeració a Estats Units (17).

La central nuclear Palo Verde en Arizona, es troba dins de les 57 instal·lacions que utilitzen les aigües residuals com a fluid refrigerant. Aquesta instal·lació utilitza  $76\text{Mm}^3/\text{any}$  d'aigua residual tractada per a la seva refrigeració (17).

Tot i que l'utilització d'aigua residual tractada sembla una opció molt atractiva per la reducció de consum d'aigua, hem de tenir en compte els riscos que suposa: contaminació biològica i la corrosió de l'equipament de la central termoelèctrica.

Finalment, podem veure que amb l'aplicació d'aquesta tècnica donem un ús a l'aigua residual que suposa la reducció completa de l'aigua dolça.

El nexe aigua residual-energia es pot veure en aquest cas, ja que indirectament s'utilitza per l'obtenció d'energia.

### ❖ Recuperació d'energia tèrmica i química de les aigües residuals domèstiques (ARD)

Les aigües residuals domèstiques, a més de tenir un elevat cabal d'entre 135 i 140 L/hab·dia (13), tenen certes propietats que els hi proporcionen un elevat potencial per:

- ✓ Estalviar d'aigua potable a partir de la reutilització de l'aigua residual domèstica.
- ✓ Obtenir elevada energia tèrmica.
- ✓ Recuperar l'energia química per l'obtenció de Biogàs.
- ✓ Recuperar Nutrients.

La reutilització d'aigua residual domèstica evita la necessitat de captar aigua de la xarxa, fet que comporta un reducció de la demanda, millorant la conservació de les fonts esgotables d'aigua potable.

Si ens fixem únicament amb el nexe aigua energia, els dos punts importants són, la recuperació d'energia tèrmica i la recuperació d'energia química de l'aigua residual domèstica (vist en l'apartat anterior). Aquests dos mostren l'obtenció de diverses formes d'energia a partir de l'aigua residual.

Per tal de saber què podem recuperar de l'aigua residual domèstica, fem una classificació de l'aigua residual domèstica segons la seva font (13), ja que, segons de on provingui l'aigua tindrà un potencial o en tindrà un altre.

- ***L'Aigua Gris :***

Aigua provinent de la rentadora i de tots el components del bany, incloent la dutxa, a excepció del vàter.

- ***L'Aigua Negra:***

Aigua provinent de la cuina i dels excrements del vàter.

- ***L'Aigua groga:***

Aigua que prové de l'orina.

A continuació s'explicaran les propietats de cadascuna d'aquestes aigües residuals domèstiques:

#### **1. L'Aigua Gris**

El flux d'aigua gris de les unitats domèstiques sol ser de molt volum i té un baix contingut de nitrogen, fòsfor, potassi i matèria orgànica (DBO<sub>5</sub>).

En termes de reutilització, com a conseqüència del seu baix contingut en nitrogen, fòsfor, potassi i DBO<sub>5</sub>, no necessita un elevat tractament per ser reutilitzada (13). Un tractament no gaire exhaustiu d'aquesta aigua ens proporcionaria una aigua amb una qualitat suficient com per a ser utilitzada per a usos d'aigua no potable, tals com: aigua per a reg (vist en l'apartat 2.2), aigua per a vàter, rentadora, dutxa etc (13). Aquesta reutilització reduiria l'ús d'aigua potable.

Com a conseqüència de la seva procedència, aquesta aigua té un elevat poder tèrmic. Per tant, l'energia tèrmica d'aquesta aigua residual domèstica és molt elevada i aquesta la podem extreure mitjançant intercanviadors de calor o bombes de calor.(veure apartat 2.4.3)

❖ Aprofitament de l'energia tèrmica de l'aigua gris mitjançant intercanviadors de calor

Un intercanviador de calor és un dispositiu que permet la transferència de calor entre dos fluids que es troben a diferent temperatura.

En l'intercanviador de calor de carcassa i tubs, que és l'intercanviador de calor més habitual, el fluid calent transcorre per l'interior dels tubs i el fluid fred per la carcassa, tal i com es mostra a la figura 2.27, la calor es transfereix d'un fluid a l'altre per conducció, aconseguint que el fluid fred augmenti la seva temperatura i el fluid calent la disminueixi. (18)

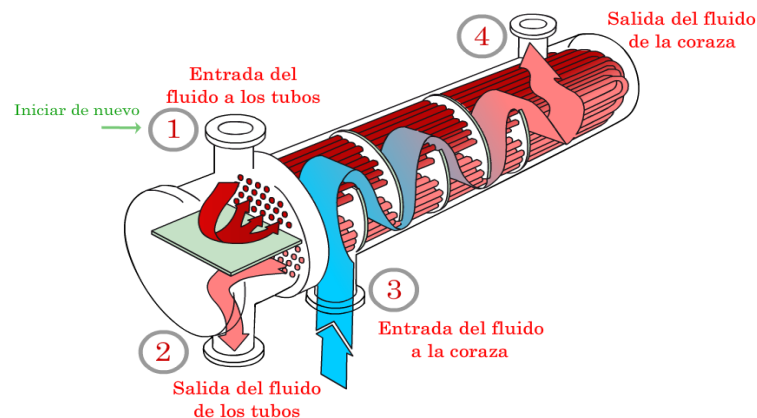


Figura 2.27 Intercanviador de calor de carcassa i tub (Font:ref(18))

Es podria utilitzar aquest dispositiu per tal de transferir la calor de l'aigua gris a un altre fluid. Per exemple, l'aigua gris podria ser utilitzada per a pre-escalfar l'aigua d'entrada a la unitat domèstica.

L'aigua gris seria el fluid calent, aquests recorreria per l'interior dels tubs de l'intercanviador, l'aigua provinent de la xarxa d'aigua faria el recorregut per la carcassa. Gràcies a que les dues aigües no estan en contacte directe en cap moment, l'aigua que prové de la xarxa no queda contaminada per l'aigua residual. (13)

Amb aquesta pràctica, aconseguim incrementar l'aigua d'entrada al domicili uns quants graus centígrads, que directament provoca que no tinguem la necessitat d'escalfar tant l'aigua pel seu ús posterior.

Hem de tenir en compte que a part de la recuperació d'energia tèrmica que aconseguim amb aquesta pràctica, també s'aconsegueix una reducció del consum energètic, ja que, no es necessitarà tanta energia per augmentar la temperatura.



## **2. L'aigua Negra**

L'aigua Negra té un elevat contingut en matèria orgànica (DBO<sub>5</sub>), ja que prové dels excrements, aquest flux es caracteritza per ser un flux escàs però molt concentrat.(13)

El elevat contingut en matèria orgànica té un cert interès per a la producció de combustibles (13).En aquest tipus d'aigua podem realitzar un tractament biològic de tipus anaeròbic, que es basa en uns microorganismes que com a conseqüència del seu metabolisme en unes condicions anaeròbiques produeixen biogàs (veure apartat 2.3.3).

Amb la producció de Biogàs aconseguim la recuperació de l'energia química que conté l'aigua residual. (ja vist en l'apartat anterior)

## **3. L'aigua Groga**

El flux de l'aigua groga sol ser un flux d'un volum reduït, d'entre 1 i 2 L/hab-dia (13). Com que prové de l'orina té un elevat contingut en Nitrogen, fòsfor i potassi (13), aquests components són els nutrients de totes les plantes, per tant aquest flux té un ser interès per a la recuperació dels nutrients necessaris als camps de cultiu.

Podem concloure que la separació de les aigües residuals domèstiques ens permetria aprofitar al màxim cadascuna de les propietats que ens proporciona cada flux d'aigua. Per tant, considerem que la separació d'aquestes aigües hauria d'aplicar-se en cada unitat domèstica. Per realitzar aquesta separació, es necessitaria un complex sistema de clavegueram, no només en els domicilis, sinó també en les ciutats i pobles.

## **2.6 Aigua per energia : Aigua consumida per a la generació d'energia**

### **2.6.1 Utilització de l'aigua a la indústria**

Avui en dia l'aigua és utilitzada per molts usos diferents, tals com:

- Aigua per a la producció d'energia: Aquest és l'ús més habitual de l'aigua, la generació d'electricitat. Les indústries hidroelèctriques i termoelèctriques suposen un gran consum d'aigua per a la producció d'electricitat. El 15% del consum mundial d'aigua és per a la producció d'energia.
- Aigua com a fluid tèrmic de calefacció o refrigeració : En els processos industrials l'ús d'aigua per a refrigeració o per calefacció és el més habitual, gràcies a la capacitat calorífica de l'aigua, aquesta és un bon medi de refrigeració i calefacció.
- Aigua com a reactiu: L'ús de l'aigua com a reactiu no és l'ús més comú però hi ha alguns processos en els quals l'aigua és utilitzada com a reactiu, aquests processos són, per exemple:

El Reformat del gas Natural: on l'aigua reacciona amb metà per formar monòxid de carboni i hidrogen, l'anomenat syngas.

Gasificació del carbó: on l'aigua reacciona amb el carbó per formar monòxid de carboni i hidrogen.

- Aigua com a dissolvent: l'aigua és el dissolvent universal per excel·lència i com a conseqüència d'això, l'aigua està present en moltes reaccions sense ser un dels reactius sinó només com a medi de reacció ja que el medi aquós és el medi més habitual. L'escala de pH està basada en el medi aquós.
- Aigua com a medi d'arrossegament de residus: Els efluent de les indústries solen ser generats amb aigua per tal de que el transport dels residus sigui més fàcil.
- Aigua com a matèria primera en la indústria per a la generació de productes: molts són els productes que necessiten l'aigua per a la generació de productes, tals com: la majoria d'aliments, els productes farmacèutics, productes tèxtils i diverses begudes. A més, una de les indústries que més consum d'aigua té és la indústria tèxtil. En aquest concepte és l'anomenada aigua hídrica. Es tracta de la quantitat d'aigua que intervé en l'obtenció de diferents productes.

A continuació es presenten les formes de consum d'aigua per a la generació d'energia, ja que la generació d'energia suposa un gran consum. Es tracta de comprovar el nexe aigua-energia.

### **2.6.2 Utilització de l'aigua en la producció d'energia**

L'aigua s'utilitza directa i indirectament per a la conservació i generació d'energia. L'aigua és necessària per a produir pràcticament totes les formes d'energia.

El 2010, l'extracció d'aigua per a la producció d'energia a nivell mundial es va estimar en  $583 \cdot 10^9 \text{m}^3$ , que és el mateix que un 15% del total de les extraccions d'aigua del món. D'aquesta quantitat d'aigua extreta  $66 \cdot 10^9 \text{m}^3$  d'aigua no es va retornar a la seva font (19).

El consum d'aigua per a la producció d'energia és molt elevat, i conseqüentment s'ha d'intentar optimitzar els processos per tal d'evitar un consum tan elevat d'aigua i per intentar preservar recursos hídrics de la Terra.

A més, s'espera que aquest consum d'aigua augmenti fins a un 85% entre 2010 i 2035 (19), fet dramàtic que podria suposar un consum excessiu d'aigua dolça que ens condueixi a un estat insostenible.

Si ens basem en aquest nexe aigua-energia podem mostrar diversos processos energètics que requereixen aigua per a la seva execució:

- Extracció i processament del Petroli, del Gas Natural i del carbó:  
Pels processos d'extracció de petroli o gas natural també són necessàries grans quantitats d'aigua. La refinaria de petroli consumeix entre 0,004 i 0,095 m<sup>3</sup> d'aigua per cada m<sup>3</sup> de productes derivats del petroli generats, i per exemple a Estats Units es generen aproximadament 3 milions de m<sup>3</sup> de productes derivats del petroli al dia. El processament del Gas Natural representa un consum de 0,0015·10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/dia.  
Pels processos d'extracció del carbó l'aigua és utilitzada per a la refrigeració o per a la lubricació dels equips perforadors i de tall.
- Producció d'energia:  
com hem comentat anteriorment la producció d'energia mitjançant les centrals termoelèctriques i hidroelèctriques representa un elevat consum d'energia.
- Refinament i processament del biofuel:  
El biofuel és l'energia renovable més utilitzada avui en dia i s'espera que incrementi el seu ús en el futur. Aquest fet provocarà un major consum d'aigua ja que per la generació del biofuel cal el cultiu de palmells o gira-sols o d'altres, i aquests necessiten elevades quantitats d'aigua pel seu creixement. Per exemple, a Estats Units el biofuel suposa un 3% dels combustibles per transport, es produeixen uns 4·10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/any. El consum d'aigua per m<sup>3</sup> de biofuel generat, excedeix el consum de refinaria de petroli per un factor de 100.

Això ens fa plantejar-nos l'ús d'aquest tipus d'energia, que cada vegada esta més en ús per la reducció de petjada de carboni que representa respecte els combustibles fòssils, però d'altra banda suposa una petjada hídrica important superior a la que suposen els altres combustibles.

S'espera un augment elevat del consum d'aigua, causat bàsicament per un augment de la població, que provocarà un augment de consum energètic, aquest fet provocarà un augment del consum d'aigua per la seva producció, una major producció de productes derivats de l'agricultura, fet que comportarà un augment de consum d'aigua pels camps, i una major producció de productes derivats de la indústria, que directament també provoca un augment de la demanda d'aigua. L'estimació per el 2050 serà de 9·10<sup>9</sup> persones, que suposarà que el consum dels recursos del planeta sigui l'equivalent als recursos naturals de 3 planetes (13), per tant, una situació insostenible.

Són aquestes prediccions les que estan indicant que si continuem amb el consum d'aigua que tenim fins ara acabarem esgotant les fonts d'aigua dolça i això no només afectarà en l'abastiment d'aigua potable, sinó que també afectarà sobre la generació d'energia, la generació de productes, la producció de aliments, etc. Per aquest motiu s'ha de canviar l'ús que s'està fent de l'aigua i buscar sistemes de gestió que estalviïn aigua per tal de conservar les fonts d'aigua dolça.

Respecte a la producció d'energia, podem classificar l'ús de l'aigua segons tres tipus de centrals per produir electricitat : les centrals hidroelèctriques, les centrals termoelèctriques, i les xarxes de calor centralitzada (biomassa). A continuació explicarem cadascun d'aquests sistemes de generació d'energia.

### 2.6.3 Centrals hidroelèctriques

En l'actualitat, l'energia que es genera mundialment es produeix, en la seva majoria, mitjançant combustibles fòssils com el petroli, el carbó o el gas natural. La problemàtica d'aquests combustibles és bàsicament, el fet de que són recursos limitats i causants de greus efectes sobre el medi ambient. Aquesta problemàtica està donant cabuda al desenvolupament d'altres tècniques de producció d'energia, bàsicament d'energia renovables.

Entre 1990 i 2014 la generació total d'electricitat a partir d'energies renovables ha augmentat un 191% a Europa. El 2014 , la quota d'energia procedent de fonts renovables en el consum final brut d'energia va aconseguir 16,0 % en la Unió Europea , gairebé el doble de la de 2004 (8,5 %). Tot i aquest augment, s'espera que al 2020 la Unió Europea augmenti la generació d'energia renovable respecte el consum final brut fins a un 20%, i fins un 27% en 2030. (20)

El 2014, Espanya es trobava en un 16,2% de producció d'energia renovable respecte el consum final brut d'energia. Espanya es troba en la posició 14 d'un total de 29 dels països de la Unió Europea, representats a la figura 2.28, que més energia renovable generen respecte el consum final, tot i que s'espera que Espanya augmenti fins a un 20% l'any 2020. (20)

Espanya genera més energia renovable respecte el consum final brut que França, UK, Alemanya i Holanda, entre d'altres.

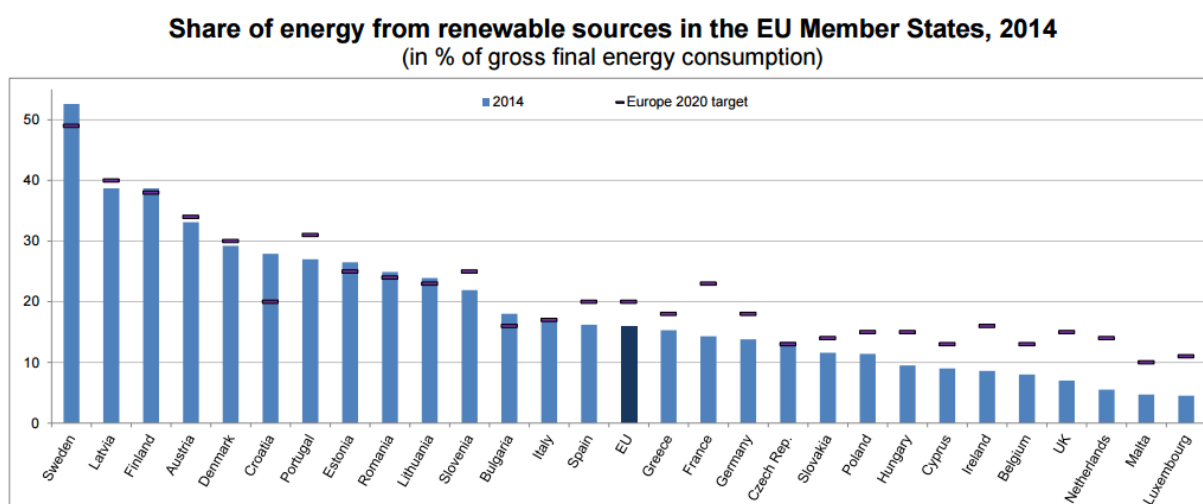


Figura 2.28 Energia generada per recursos naturals en EU (ref(20))

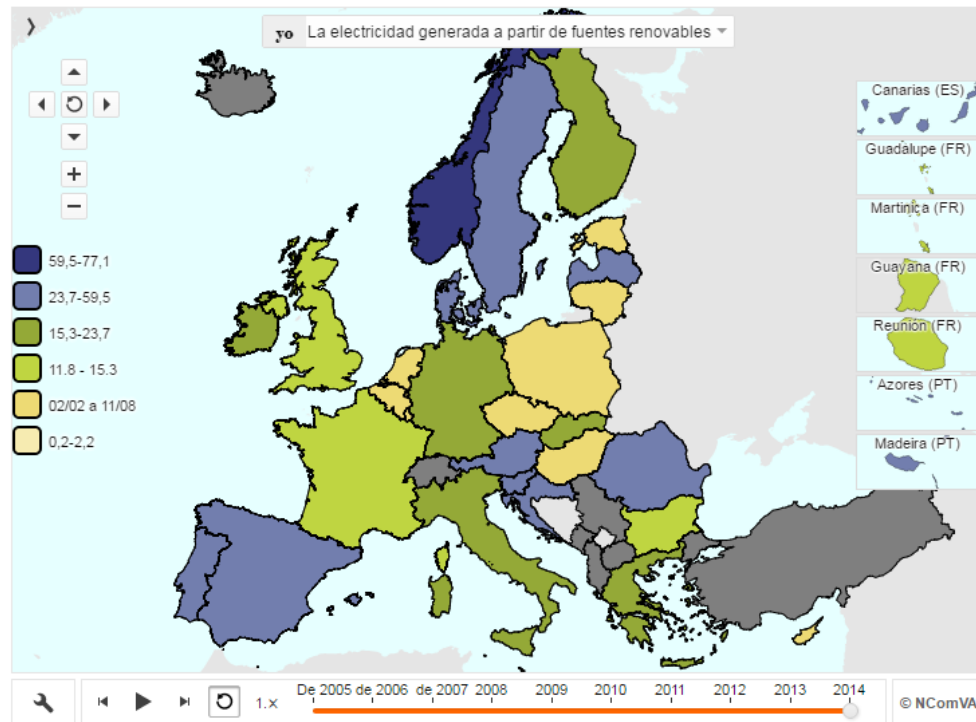


Figura 2.29 Electricitat generada a partir de fonts renovables a EU (Font: ref(21))

Tal i com es mostra a la figura 2.29, Espanya respecte d'altres països d'Europa és un dels països que més generació d'energia elèctrica de fonts renovables té.

### 2.6.3.1 Energia hidroelèctrica

L'energia hidroelèctrica és la segona energia renovable que més quantitat d'energia suposa després de la biomassa i el biofuel, tal i com es mostra a la figura 2.30.

En la figura 2.30 podem observar que en la Unió Europea entre 1990 i 2014 la generació d'energia hidroelèctrica ha augmentat, aquest augment és del 29% però d'altra banda, en aquest mateix període aquesta energia renovable ha reduït la seva participació en el total d'energia produïda des d'un 92% fins un 42%. (22)

Aquesta reducció de participació de l'energia hidroelèctrica en el total d'energia generada és deguda a que altres tipus d'energies renovables s'han desenvolupat en aquest període, altres energies com l'energia eòlica, la geotèrmica, biogàs, biofuel, energia solar entre d'altres.

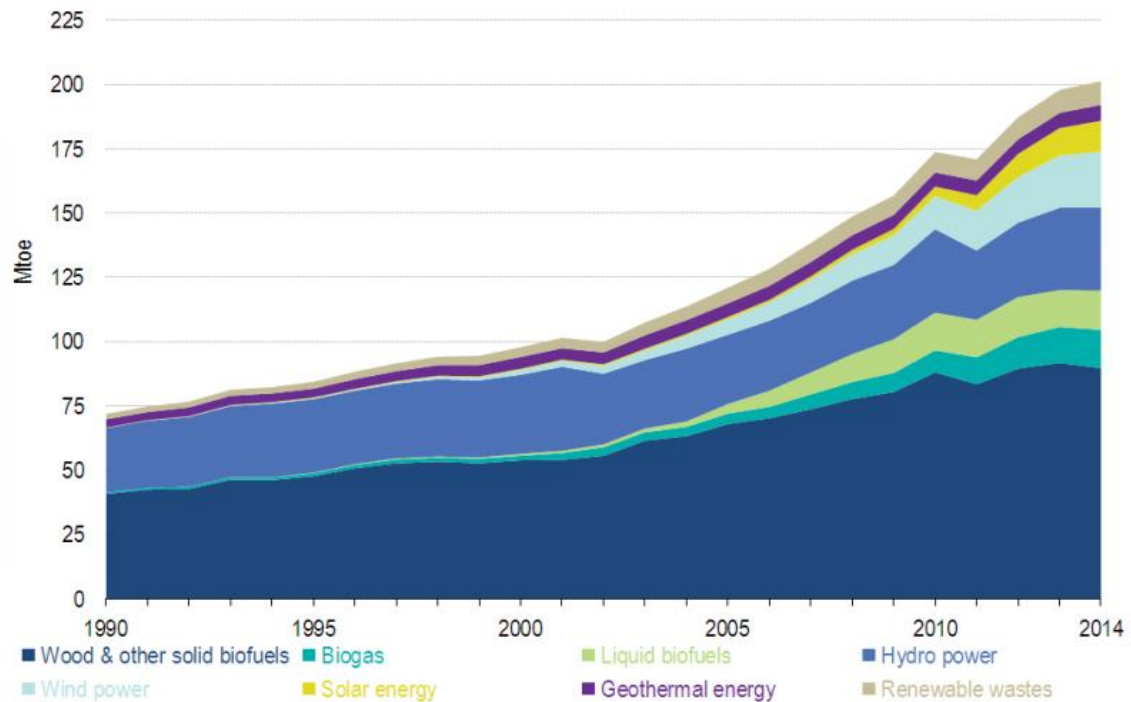


Figura 2.30 Evolució de la utilització de les energies renovables a EU (Font: ref(22))

L'energia hidroelèctrica es considera una energia renovable. Com a conseqüència dels seus avantatges, l'energia hidroelèctrica ha sigut l'energia renovable que més s'ha desenvolupat en aquets últims anys.

### 2.6.3.2 Funcionament de les centrals hidroelèctriques

Les centrals hidroelèctriques aprofiten l'energia mecànica obtinguda a partir d'un salt d'aigua. L'energia mecànica de l'aigua es transforma en energia mecànica de rotació mitjançant una turbina hidràulica, i aquesta és la que acciona un generador elèctric que finalment dona electricitat.

L'aprofitament de l'energia hidràulica es realitza mitjançant la captació, que pot ser mitjançant embassament o no, del cabal del riu que és conduït cap a la central a través d'una canonada forçada, que mitjançant un desnivell d'alçada adquireix energia potencial i cinètica que seguidament és utilitzada per la turbina que està indicada en la central.

La potència d'una central hidroelèctrica és proporcional a l'alçada i el cabal turbinat i es calcula amb la següent fórmula:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \cdot \eta_{total}$$

On  $\rho$  és la densitat del fluid en  $\text{Kg}/\text{m}^3$

On  $g$  és la gravetat  $\text{m}/\text{s}^2$

On  $Q$  és el cabal en  $m^3/s$

On  $h$  és el salt net en  $m$

On el  $\eta_{total}$  és el rendiment de la turbina, alternador i transformador.

Les centrals hidroelèctriques presenten un cert impacte ambiental, no només per la petjada hídrica que suposen, sinó també pel canvi de l'estructura de l'entorn que provoquen amb la construcció dels embassaments. Les centrals hidroelèctriques de petita potència i les minicentrals no necessiten grans embassaments, per tant, són les que menys impacte ambiental generen.

Les centrals hidroelèctriques utilitzen l'aigua per a la generació d'energia, tot i que l'aigua que utilitzen la retornen pràcticament en la seva totalitat després del pas d'aquesta per les turbines.

- **Tipus de turbines hidràuliques**

Tal i com hem dit anteriorment, les turbines hidràuliques són les encarregades en transformar l'energia mecànica (energia potencial i cinètica) de l'aigua en energia mecànica de rotació.

Les turbines hidràuliques es classifiquen segons si són d'acció o de reacció. Les turbines d'acció aprofiten només la velocitat en la que arriba l'aigua per fer girar les seves aspes. En canvi, les turbines de reacció són les que aprofiten tant la velocitat com la pressió del flux d'aigua que arriba a la turbina (23).

- **Turbines d'acció:** Pelton, Ossberguer i Turgo.
- **Turbines de reacció:** Francis, hèlix i Kaplan.

Les més habituals són les Pelton, les Francis i les Kaplan.

La Pelton s'instal·la per a centrals que disposen de cabals petits i elevades alçades. La Francis s'instal·la per a salts mitjans i cabals intermedis. I finalment, la turbina Kaplan s'utilitza per centrals que disposen de cabals molt elevats i salts d'aigua reduïts.

- **Classificació de les centrals hidroelèctriques**

Hi ha diferents tipus de centrals hidroelèctriques i es poden classificar de diferents formes.

1. Si classifiquem les centrals segons la seva potència:

- Microcentrals  $P < 100 \text{ kW}$
- Minicentrals  $100 < P < 1.000 \text{ kW}$
- De mitjana potència  $1 < P < 10 \text{ MW}$
- De gran potència  $P > 10 \text{ MW}$

2. També es poden classificar segons la pressió o l'alçada del salt.

Taula 2.2 Classificació de les centrals hidroelèctriques segons la pressió del salt (Font: Pròpia)

	Salt	Cabal	Tipus de turbina	Zona
<b>Alta pressió</b>	>200 m	20 m <sup>3</sup> /s	Pelton(principalment) i Francis	Alta muntanya
<b>Mitja pressió</b>	20-200 m	200 m <sup>3</sup> /s	Francis	Grans embassaments
<b>Baixa pressió</b>	<20 m	>300 m <sup>3</sup> /s	Francis i Kaplan	Valls de baixa muntanya

3. D'altra manera també podem classificar-les segons com discorre l'aigua:

Taula 2.3 Classificació de les centrals hidroelèctriques segons com discorre l'aigua (Font: Pròpia)

	Cabal	Alçada	Presència de pressa d'aigua	Producció d'energia	Tipus de Centrals
<b>Aigua fluent</b>	Gran	Petita	No	Dependent de les condicions meteorològiques, màxima en temporada de pluges, mínima en sequera.	Centrals base
<b>Aigua embassada</b>	Petit	Gran	Si	Segons la demanda	Centrals punta

De centrals d'aigua embassada n'hi ha de dos tipus: **De regulació i de bombament**. Les de regulació permet emmagatzemar grans volums d'aigua, que directament provoca que puguem treballar amb cabals més grans, per tant, amb una producció d'energia també més constant. Les centrals de bombament són aquelles que permeten el turbinatge o el bombament o l'emmagatzematge de l'aigua, ja que són reversibles. Aquestes són centrals que es basen en dos embassaments a diferents alçades, aquests embassaments no deixen de ser magatzems d'energia, quan la demanda d'energia elèctrica és elevada es fa un bombejament de l'aigua des de l'embassament de menys alçada fins l'embassament superior.

### 2.6.3.3 Consum d'aigua de les centrals hidroelèctriques

A simple vista podríem assegurar que la generació d'energia elèctrica mitjançant centrals hidroelèctriques no suposa consum d'aigua, ja que, l'aigua després de ser utilitzada per accionar la turbina hidràulica és retornada pràcticament en la seva totalitat al riu. Però, si que hi ha consum d'aigua en aquest tipus de centrals, aquest consum es produeix en els embassaments.

Els principals causants del consum d'aigua de les centrals hidroelèctriques és la filtració i l'evaporació dels embassaments de les centrals. Per tant, el consum d'aigua dependrà de la zona on estigui instal·lat l'embasament, del clima de la zona i del disseny del dipòsit on hi



resideixi l'aigua. Conseqüentment, el consum d'aigua de les centrals hidroelèctriques és variable.

L'estudi *Consumptive Water Use for U.S. Power Production* (24) mostra el consum d'aigua per les centrals hidroelèctriques en els Estats Units. El resultat mitjà d'aigua consumida per les centrals hidroelèctriques d'aquest estudi, és de 68L per cada kWh d'energia consumida per l'usuari (24), que és el mateix que 68.000 L per cada MWh d'energia elèctrica. Com podem veure un consum d'aigua molt notori que s'ha de tenir en compte.

#### **2.6.3.4 Centrals mini-hidroelèctriques**

Com a Espanya es considera com a font renovables aquelles centrals hidroelèctriques que tenen una potència inferior a 10MW les mini-hidroelèctriques són considerades com a font renovable (23).

Les centrals mini-hidroelèctriques són majoritàriament centrals d'aigua fluent, fet que suposa que el cabal turbinat i la potència generada per la central sigui variable (23). El fet de no disposar de presa o disposar d'una pressa molt petita provoca la dependència del cabal del riu que transcorre pel riu per a la producció energètica.

- **Centrals mini-hidroelèctriques a Espanya**

A finals del 2004, les centrals mini-hidroelèctriques representaven una potència total a Espanya de 1.749MW distribuïda en diverses Comunitats Autònomes (23).

Tot i que aquestes dades són de finals de 2004, hem de tenir en compte que les centrals hidràuliques i mini-hidroelèctriques es van posar en marxa a mitjans del segle XX i com a conseqüència de la seva complexitat de construcció, difícilment s'han construït altres centrals posteriorment. Per tant, podem assegurar que les centrals que hi ha en l'actualitat no distaran molt de les centrals existents al 2004.(23)

Si observem la figura 2.31, Castilla i Lleó és la Comunitat Autònoma que acumula la major potència, 263 MW, seguida de Catalunya que proveeix 232MW de potència de les mini-hidroelèctriques.

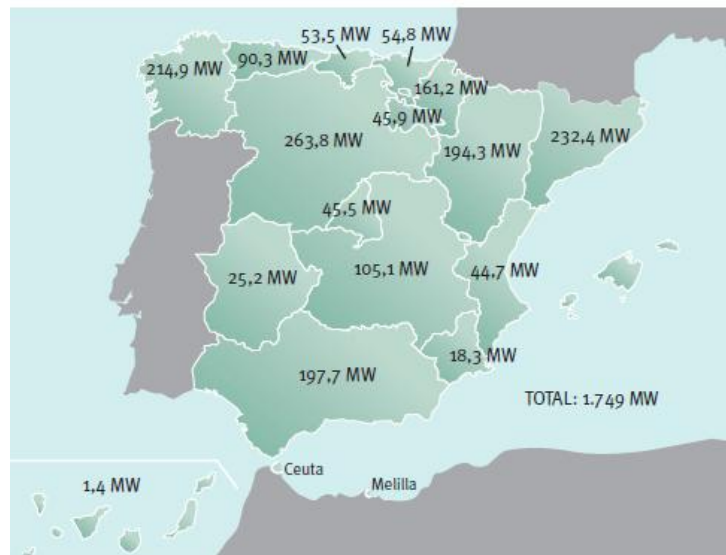


Figura 2.31 Potències instal·lades de centrals mini-hidroelèctriques per comarques (Font:ref(23))

Com podem observar a la figura 2.31 Espanya té distribuïda per totes les seves comunitats autònomes una àmplia xarxa de centrals mini-hidroelèctriques que suposen una elevada generació d'energia.

El cas d'estudi es troba a Catalunya, exactament, aquelles mini-hidroelèctriques que es troben a un tram concret del riu Llobregat. Aquestes contribueixen als 232.4MW de potència instal·lada que té Catalunya.

- **Tipus de centrals mini-hidroelèctriques**

- Centrals d'aigua fluent

La majoria de centrals mini-hidroelèctriques són d'aigua fluent. Aquestes centrals es basen en un desviament d'aigua del riu mitjançant canals i conduccions fins a la central (23).



Figura 2.32 Esquema d'una central d'aigua fluent (Font: ref(23))

A la figura 2.32 es mostra l'esquema general d'una central mini-hidroelèctrica d'aigua fluent. Es pot observar com part de l'aigua del riu es conduïda fins la centrals, on l'aigua es turбина per obtenir electricitat i es retorna de nou al riu.

El desviament d'aigua s'ha de realitzar tenint en compte que el riu mantingui el anomenat cabal mínim. El cabal mínim és aquella quantitat d'aigua que assegura la continuïtat del riu, per tal de que aquest no desaparegui.

El fet de no disposar de presa ni embassament representa un avantatge i un inconvenient. L'avantatge és que al no tenir embassament no hi ha pèrdues d'aigua per evaporació, per tant, no hi ha petjada hídrica.(23)

Per altra banda, l'inconvenient és que al no tenir presa o tenir-ne una de petita no poden realitzar regulació de cabal, i consegüentment, no generaren electricitat de la mateixa magnitud en cada moment. Tot i això, la generació d'energia per les centrals mini-hidroelèctriques d'aigua fluent és durant tot el dia, ja que contínuament el riu transporta aigua.(23)

Un exemple d'una central hidroelèctrica d'aigua afluent del cas d'estudi és la central de Cal Bassacs.

- Visita a la central mini-hidroelèctrica de Cal Bassacs.

La central de Cal Bassachs, al terme municipal de Gironella (Berguedà), és una central mini-hidroelèctrica situada, com la gran majoria de centrals del riu Llobregat, en una antiga fàbrica tèxtil vora del riu. Aquesta central van entrar en funcionament a principis del segle XX amb l'objectiu de proporcionar energia a la fàbrica.

La central compta amb el següent equipament:

- ✓ Turbina Francis de càmera oberta i un alternador que donen una potència instal·lada de 300kW.
- ✓ Canal de captació d'aigua de 200m de recorregut. El canal de captació compta amb una resclosa.
- ✓ El salt d'aigua és de 9 metres tot i que des del canal fins al riu només n'hi ha 5, els 4 metres restants s'aconsegueixen instal·lant la turbina 4 metres per sota del nivell del riu.
- ✓ Canal subterrani de 1,5 km de recorregut que retorna l'aigua al riu.

La central està en funcionament les 24 hores del dia, i l'energia elèctrica produïda és subministrada a la xarxa elèctrica instantàniament. El preu a la que es ven l'energia és de 0,8 cèntims/kWh.

La central té elevats costos de manteniment, ja que les accions de manteniment són poques però d'alt cost econòmic, aquestes accions són: la neteja de la reclosa i la parada de la turbina.

A continuació es mostren unes imatges preses a la central hidroelèctrica de Cal Bassacs.



Figura 2.33 Fotografia de la resclosa de la central Cal Bassacs (Font: Pròpia)

A la figura 2.33 es mostra la resclosa de la central, a més es pot veure l'aigua que mantenen en el riu (part dreta de la figura 2.33), aquest és el cabal mínim, que és necessari per assegurar la continuïtat del riu.



Figura 2.34 Entrada al canal de la central de Cal Bassacs (Font: Pròpia)



Figura 2.35 Canal d'aigua de la central Cal Bassacs (Font: Pròpia)

La figura 2.34 mostra l'entrada de l'aigua del riu al canal de captació de la central. La figura 2.35 mostra el canal de captació de la central.

Com que és una central d'aigua fluent té un cabal d'aigua variable, tot i que, aquesta central està dissenyada per un cabal d'aigua de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figura 2.36 Desbast de la central de Can Bassacs (Font: Pròpia)

La figura 2.36 mostra les reixes situades en l'entrada de l'aigua a la turbina. Aquestes, són necessàries per extreure de l'aigua tota aquella brossa que porta, per tal de que no entri a la turbina i la malmeti.



Figura 2.37 Turbina de la central de Cal Bassacs (Font: Pròpia)



Figura 2.38 Alternador de la central de Cal Bassacs (Font: Pròpia)

La figura 2.37 mostra la turbina Francis, visualment en pobres condicions, i el seu eix. En la figura 2.38 es mostra l'alternador.

- Centrals de peu de presa

Aquestes es caracteritzen perquè tenen un embassament, on l'aigua que es reté és l'aigua del riu, de la pluja i del desgel (23). Aquest embassament el que permet és la regulació del cabal d'aigua que arriba a la central, per tant, també regulen la quantitat d'energia que generen.

Aquesta capacitat de control de producció d'energia s'utilitza per proporcionar energia en les hores puntes de consum.



A continuació es mostra un esquema de les centrals de peu de presa:

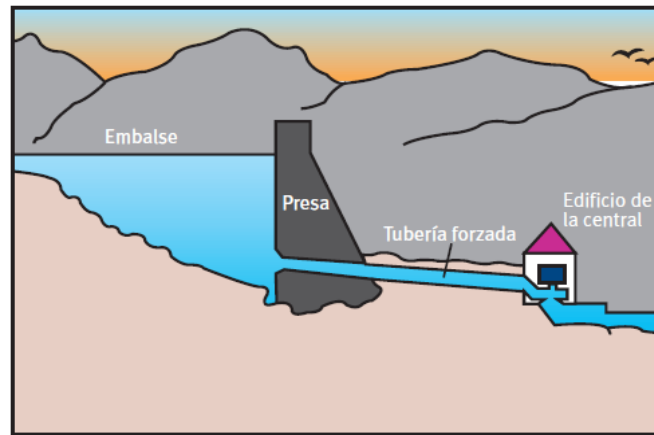


Figura 2.39 Esquema d'una central de peu de presa (Font: ref(23))

Tal i com es mostra a la figura 2.39 les centrals de peu de presa disposen d'un embassament on es reté l'aigua, una presa, d'una canonada forçada i de la central.

Les mini-hidroelèctriques el volum d'aigua emmagatzemada és petit, sol ser el necessari per produir energia durant unes hores al dia i permetent l'ompliment de l'embassament per la nit.

Un exemple de centrals de peu de presa seria la central de Clot del Moro, situada a Castellar de N'hug.

Aquesta central està dins de la situació on realitzem el cas d'estudi, tot i que, no la tenim en compte, ja que, la seva potència instal·lada és de 2.540 kW i com que és superior a 1.000kW aquesta central no es considera mini-hidroelèctrica, conseqüentment, no la contemplem en el cas d'estudi.

A continuació es mostra unes imatges de la central Clot del Moro:



Figura 2.40 Salt d'aigua central Clot del Moro (Font: Dolors Grau)



Figura 2.41 Canonada de la central Clot de Moro (Font: Dolors Grau)

L'aigua en aquesta zona té un elevat salt d'aigua, i conseqüentment, una elevada energia potencial que és aprofitada per la central Clot de Moro. A la figura 2.40 es mostra el salt d'aigua i a la figura 2.41 es mostra la canonada que transporta l'aigua fins a la central.



Figura 2.42 Entrada de la canonada a la central Clot de Moro (Font: Dolors Grau)

L'aigua és conduïda fins a l'entrada de la central, tal i com mostra la figura 2.42



Figura 2.43 Turbina i alternador de la central de Clot de Moro (Font: Dolors Grau)



Figura 2.44 Turbina i alternador de la central de Clot de oro (Font: Dolors Grau)

Les figures 2.43 i 2.44 mostren el conjunt turbina i alternador de la central de Clot de Moro.

- Centrals en canal de reg o de proveïment

Dins d'aquest grup hi ha dos tipus de centrals:

- Aquelles que utilitzen el desnivell existent al propi canal. Mitjançant la instal·lació d'una canonada forçada, paral·lela a la via ràpida del canal de reg, es condueix l'aigua fins a la central, retornant-la posteriorment al seu curs normal en canal.
- Aquelles que aprofiten el desnivell existent entre el canal i el curs d'un riu proper. La central en aquest cas s'instal·la propera al riu i es turbinant les aigües excedents al canal.

- **Equipament habitual de les centrals hidroelèctriques i mini-hidroelèctriques**

**Desviament de l'aigua**

És una estructura que té com objectiu el desviament de part de l'aigua del riu a la central(23). També s'encarrega de distribuir un cabal d'aigua amb poca quantitat de sòlids. Aquesta estructura és més complexa o més simple segons la quantitat de cabal d'aigua que ha de desviar.

**Canals i canonades**

Aquest sistema de canonades és per conduir l'aigua fins l'embasament, en cas de que la central disposi d'embassament o fins la central hidroelèctrica.

**Embassament i Presa**

L'embassament i la presa són les dues estructures encarregades de mantenir una certa quantitat d'aigua a una elevada alçada (23).

La presa és necessària per captar l'aigua que es dirigirà fins a la turbina hidràulica. Hem de considerar que en l'embassament és on hi resideix aigua estancada en grans superfícies, que segons les condicions meteorològiques, es perd per evaporació. Per tant, el fet de tenir un embassament provocarà pèrdua d'aigua, per tant, una certa petjada hídrica.

La presa d'aigua es fa a una cota elevada perquè un cop deixem transcórrer l'aigua puguem aprofitar l'energia potencial d'aquesta, per a la generació d'energia. En l'entrada d'aigua d'aquestes preses s'hi instal·len unes reixes per tal de no deixar passar cossos que estiguin en suspensió en l'aigua.

**Xemeneia d'equilibri**

La xemeneia d'equilibri està en la zona entre la galeria de conducció i la canonada forçada. N'hi poden haver de diferents tipus, però bàsicament és una sortida d'aigua que evita el cop d'ariet. El cop d'ariet es dona quan hi ha una fluctuació de càrrega de la turbina, cosa que provoca vibracions i deformacions l'equipament.

**Canonada de pressió**

La canonada de pressió és l'encarregada de transportar l'aigua fins la central. Aquesta canonada està formada d'acer i és instal·lada en una certa pendent, conseqüentment, pateix una elevada pressió (23).

**Central**

En la central és on està instal·lada la maquinaria necessària per l'aprofitament de l'energia continguda en l'aigua i la seva transformació en energia elèctrica.

**Canal de desguàs**

El canal de desguàs és el canal pel qual passa l'aigua provinent de les turbines hidràuliques i aquesta, es retornada al riu.

Totes les parts descrites anteriorment es mostren a la figura 2.45:



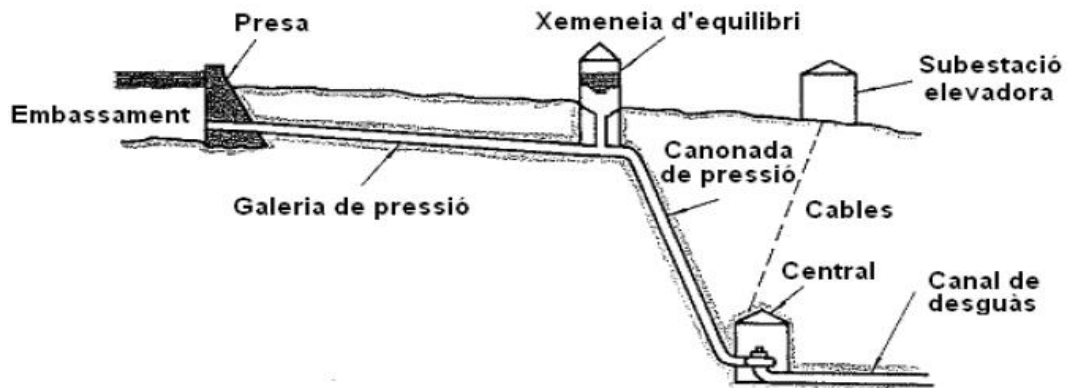


Figura 2.45 Esquema d'equipament habitual en les central hidroelèctriques (Font: Apunts Cunill)

### 2.6.3.5 Impacte ambiental de les centrals mini-hidroelèctriques

L'estudi *Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica, Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica* fa una comparativa entre 8 sistemes de producció d'energia per tal de saber quin és el sistema de generació d'energia que suposa un menor impacte ambiental.(25)

Els 8 sistemes de generació d'energia es separen en 2 grups (25):

- Sistemes convencionals: sistema tèrmic de lignit, de carbó, de fuel-oil, de Gas Natural i nuclear.
- Sistemes renovables: Eòlica, solar fotovoltaica i mini-hidroelèctrica.

A la figura 2.46 es mostra una matriu on es veu clarament quin tipus d'impacte medioambiental i en quin nivell realitzen els diferents sistemes de generació d'energia.

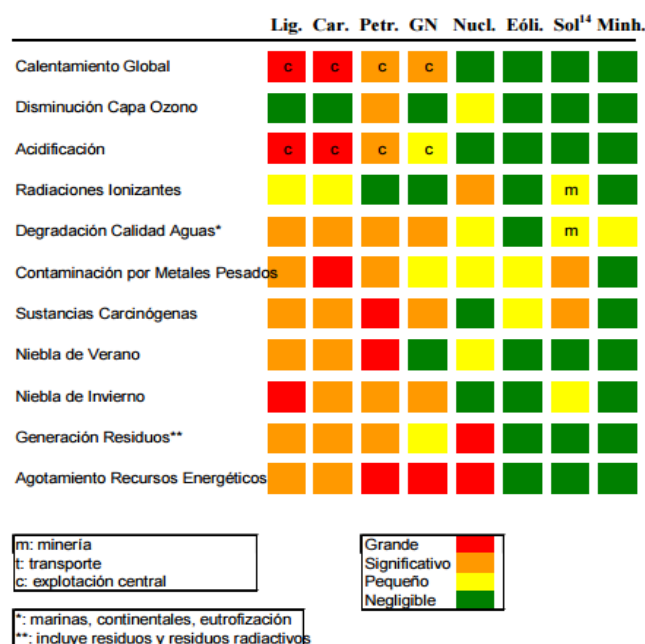


Figura 2.46 Figura resum dels impactes ambientals de cada forma de generació d'energia (Font: ref(25))

Tal i com es mostra a la figura 2.46, les centrals mini-hidroelèctriques únicament suposen un petit impacte ambiental sobre la qualitat de l'aigua.

Si fem la comparativa de les centrals mini-hidroelèctriques amb els altres dos sistemes de generació d'energia renovable, energia eòlica i energia solar fotovoltaica, podem observar que l'energia generada a partir de les centrals mini-hidroelèctriques és l'energia més neta.

Observant la matriu podem concloure que l'energia que suposa menys impacte ambiental és l'energia provinent de les centrals mini-hidroelèctriques. Segons el mateix estudi, les centrals mini-hidroelèctriques suposen un impacte ambiental 300 vegades inferior que el sistema de generació d'energia que més impacte suposa, el sistema tèrmic de lignit.(25)

El reduït impacte ambiental i sobretot el reduït consum d'aigua que produeix la generació d'energia elèctrica a partir de centrals mini-hidroelèctriques està provocant que aquestes es desenvolupin i s'expandeixin, per tal d'abastir més demanda d'energia elèctrica en el futur.

#### 2.6.4 Centrals termoelèctriques

Les indústries termoelèctriques tenen una importància rellevant, ja que, per unitat d'energia produïda són els sistemes de generació d'energia que més aigua consumeixen(19) . A més que suposen el 75% de la generació elèctrica mundial (26). Les centrals termoelèctriques consumeixen aigua per a la generació d'energia, principalment la consumeixen en termes de refrigeració, i també per la generació de vapor.

El consum d'aigua dolça per a la generació d'energia elèctrica està sent un problema, ja que està esgotant les fonts d'aigua dolça, que ja són escasses, portant-les al límit. Aquest fet provoca que en època de sequera la producció d'energia elèctrica es vegi afectada.

El consum d'aigua dolça es tan elevat que per exemple, a Estats Units l'any 2005 la generació d'energia termoelèctrica va suposar un 41% de les extraccions d'aigua dolça (17). Després d'aquesta afirmació podem concloure que és en les centrals termoelèctriques on es consumeix més aigua per a la producció d'energia, per tant, on es veu més pronunciadament el nexe Aigua-Energia.

#### 2.6.4.1 Procés de generació d'energia en les centrals termoelèctriques

Hem d'estudiar el procés de generació d'energia de les centrals termoelèctriques per tal de saber on es produeix el consum d'aigua.

El procés de generació d'energia elèctrica de les centrals termoelèctriques es basa en la introducció d'aigua líquida en una caldera on l'aigua líquida es transformada en vapor a elevada pressió, aquest vapor d'aigua s'introdueix en una turbina de vapor que utilitza l'energia mecànica d'aquest per moure les aspes de la turbina, que connectada a l'alternador, genera electricitat.

Tot i que el vapor que surt de la caldera està a elevada pressió i a elevada temperatura, l'energia tèrmica no és aprofitada, ja que l'energia que s'aprofita del vapor és l'energia mecànica que s'utilitza per a moure les aspes de la turbina que generen electricitat. Conseqüentment, l'aigua que surt de la turbina de vapor ja no tindrà una elevada pressió però mantindrà una temperatura elevada.

A continuació es mostra un esquema per una millor comprensió del procés de les centrals termoelèctriques explicat anteriorment:

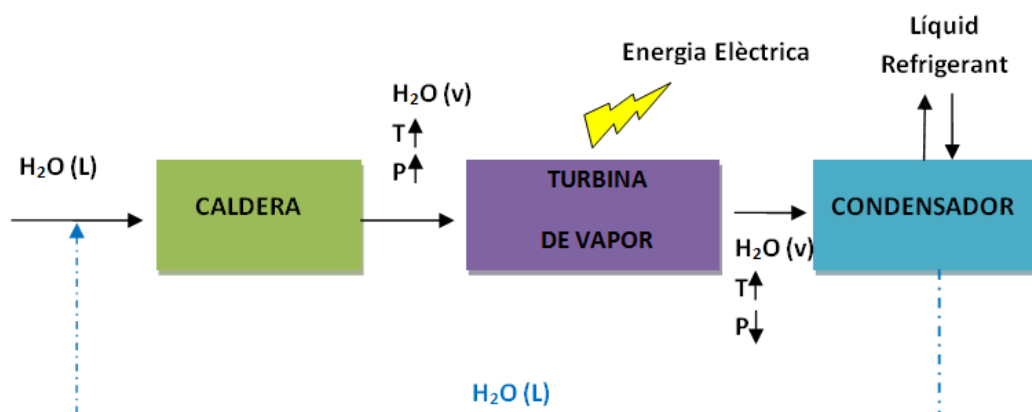


Figura 2.47 Esquema del procés de generació d'energia elèctrica de les centrals termoelèctriques (Font: Pròpia)

Tal i com es mostra en la figura 2.47, després de la turbina de vapor obtenim l'energia elèctrica i com a subproducte tenim vapor d'aigua a baixa pressió i però a elevada temperatura. La

instal·lació d'un condensador al circuit és necessària per tal de reduir la elevada temperatura del vapor de sortida de la turbina de vapor. Es redueix la temperatura fins que s'aconsegueix la seva condensació.

La condensació del vapor resultant es fa mitjançant un refrigerant que capta la calor del vapor. Aquest és l'altre punt de consum d'aigua de les centrals termoelèctriques, ja que el refrigerant que s'utilitza habitualment és aigua. El refrigerant del condensador pot ser aigua del riu (circuit obert) o aigua provinent d'una torre de refrigeració (circuit tancat).

El cas idoni seria que l'aigua que surt del condensador es retorni a la caldera (veure línia blava de la figura 2.47), de manera que es barregi l'aigua que entra a la caldera de l'exterior i l'aigua provinent del condensador. Fet que suposa que no hi hagi la necessitat d'introduir una elevada quantitat d'aigua provinent de l'exterior, per tant, el consum d'aigua seria inferior. Aquesta pràctica també estalvia el tractament de l'aigua d'entrada.

### **Pretractament de les aigües de la caldera de vapor**

Hem de tenir en compte de que l'aigua líquida que introduïm a la caldera ha de tenir un tractament previ per tal de no provocar incrustacions ni corrosió en la caldera.

Per tal d'evitar les incrustacions provocades pels cations calci ( $\text{Ca}^{+2}$ ) i magnesi ( $\text{Mg}^{+2}$ ), es fa passar l'aigua a través d'unes resines d'intercanvi iònic. Aquestes tenen un elevat consum d'aigua en el procés de la seva recuperació, per tant, aquest és un altre punt de consum d'aigua de les centrals termoelèctriques.

Tot i que aquest pretractament d'aigua provoca un elevat consum d'aigua és necessari, ja que, si es formessin incrustacions o hi hagués corrosió a la caldera provocaria una reducció de la transferència de calor, fet que directament suposaria un augment del consum energètic.

### **Punts de Consum d'aigua de les centrals termoelèctriques**

- Aigua per a la generació de vapor d'aigua.
- Aigua com a refrigerant del condensador.
- Consum d'aigua en el pretractament de l'aigua de calderes (recuperació de resines d'intercanvi iònic)

El consum d'aigua per a la generació de vapor serà més elevat o més reduït segons el tipus de configuració tingui la central termoelèctrica (circuit obert o circuit tancat) (17). A continuació estudiarem les diferents configuracions.

El consum d'aigua en el pretractament és necessari en totes les configuracions possibles de les centrals termoelèctriques, per tant, és un consum que sempre es donarà.

L'aigua com a refrigerant, és el principal consum d'aigua, suposarà un major o menor consum segons el tipus de refrigeració utilitzem: refrigeració humida, refrigeració seca o refrigeració híbrida.

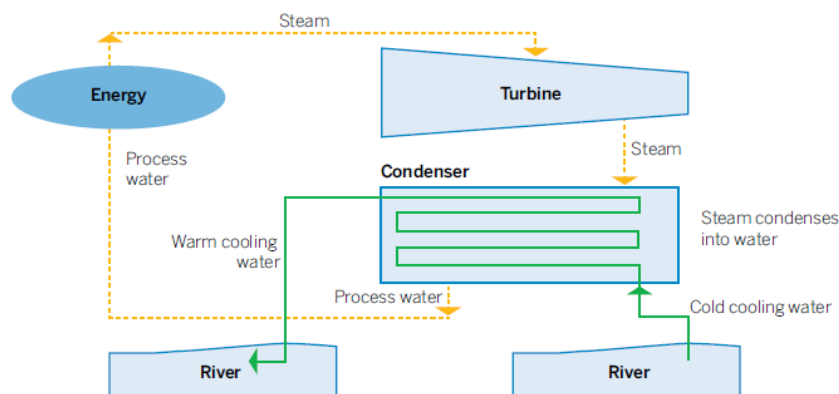
- **Circuit obert**

En aquesta configuració l'aigua de refrigeració utilitzada en el condensador s'agafa directament del riu. L'aigua de refrigeració s'utilitza una vegada i es retorna, pràcticament en la seva totalitat, al riu. (17)

**Taula 2.4 Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit obert (Font:Pròpia)**

AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LES CENTRALS QUE UTILITZEN CIRCUIT OBERT	
Avantatges	Inconvenients
<p>Consum d'aigua reduït.</p> <p>Cost reduït.</p>	<p>Necessitat d'extracció de quantitats elevades d'aigua del riu.</p> <p>Impacte en l'ecosistema.</p> <p>Contaminació tèrmica.</p>

La contaminació tèrmica és deguda a que l'aigua que es retorna al riu es troba a una certa temperatura, fet que provoca una reducció de la solubilitat de l'oxigen (ja que la solubilitat és inversa a la temperatura), i si l'oxigen dissolt en l'aigua es redueix més de 2ppm provoca la mort de diferents animals aquàtics, el que seria un greu impacte ambiental.



**Figura 2.48** Esquema del circuit obert de les centrals termoelèctriques (Font: ref(27))

L'extracció de l'aigua del riu per aquest sistema es troba entre 75 i 450 m<sup>3</sup>/MWh (27), depenent del tipus de planta, però com que pràcticament es retorna tota l'aigua que s'introdueix, es pot considerar que no hi ha consum d'aigua.

- **Circuit tancat**

En aquest cas l'aigua de refrigeració està en un circuit tancat. Aquesta aigua s'escalfa quan absorbeix la calor provinent del vapor d'aigua, seguidament, es refreda en una torre de refrigeració i es torna a introduir com a fluid fred al condensador. El recorregut d'aquest flux d'aigua es pot observar en la figura 2.49.

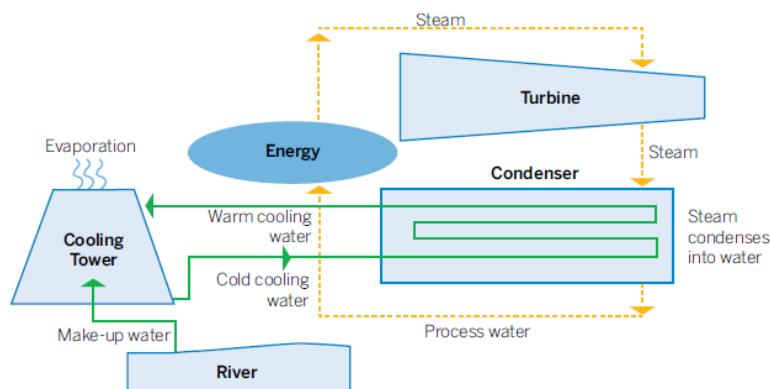
Les torres de refrigeració amb ajuda de l'aire aconseguixen reduir la temperatura de l'aigua de sortida del condensador.

A continuació es mostra una taula amb els avantatges i inconvenients d'aquest sistema:

**Taula 2.5 Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit tancat (Font: Pròpia)**

AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LES CENTRALS QUE UTILITZEN CIRCUIT TANCAT	
Avantatges	Inconvenients
Extracció de quantitats més reduïdes d'aigua del riu. Impacte reduït al ecosistema.	Consum d'aigua com a conseqüència de l'evaporació. Sistema més complex.

L'aigua que es necessita extreure del riu en aquests circuits és entre 20 i 80 vegades inferior a la que s'ha d'extreure en els circuits oberts (19), però d'altra banda, un percentatge important de l'aigua que s'extreu del riu en aquest sistema, es perd per evaporació.



**Figura 2.49 Esquema del circuit tancat de les centrals termoelèctriques (Font: ref(27))**

Com que part de l'aigua s'evapora en la torre de refrigeració es necessita una aportació de l'aigua del riu, més petita que en el sistema de circuit obert, per tal de proporcionar el cabal d'aigua necessari al condensador. El consum d'aigua es troba amb un valor de d'aigua 0,7-5,3 m<sup>3</sup>/MWh (17).

#### ○ Torres de refrigeració

El funcionament de les torres de refrigeració es basa en la introducció d'aigua que passa pel reblliment de la torre, mitjançant uns ruixadors, mentre que l'aire va en sentit contrari. En el moment de contacte de l'aigua amb l'aire, a l'aigua li succeeixen dos fenòmens, una part s'evapora simultàniament i es perd, i l'altre part es refreda i torna al circuit. Aquesta aigua refredada es recull per la part inferior de la torre i es retorna al condensador i l'aigua evaporada es perd i és considerada com aigua consumida en aquest procés.

El contacte entre l'aigua i l'aire és el paràmetre clau en les torres de refrigeració. Per tal d'assegurar aquest contacte s'instal·la un rebliment a l'interior de la torre.

La refrigeració que es realitza mitjançant torres de refrigeració s'anomena refrigeració humida.

Hi ha diferents tipus de torres de refrigeració; torres de refrigeració de tir natural, torres de refrigeració de tir forçat, mecànic o induït.

### Tipus de torres de refrigeració

Els diferents tipus de torres de refrigeració es basen en diferents formes d'introduir l'aire en la torre de refrigeració. Considerem important classificar-les, ja que, cada torre suposa un consum energètic diferent.

#### *TORRE DE REFRIGERACIÓ DE TIR NATURAL*

La introducció de l'aigua es fa mitjançant uns ruixadors, en canvi, l'aire és introduït de manera natural gràcies a l'estructura de xemeneia de la torre.

El consum d'energia en aquestes torres és reduït.

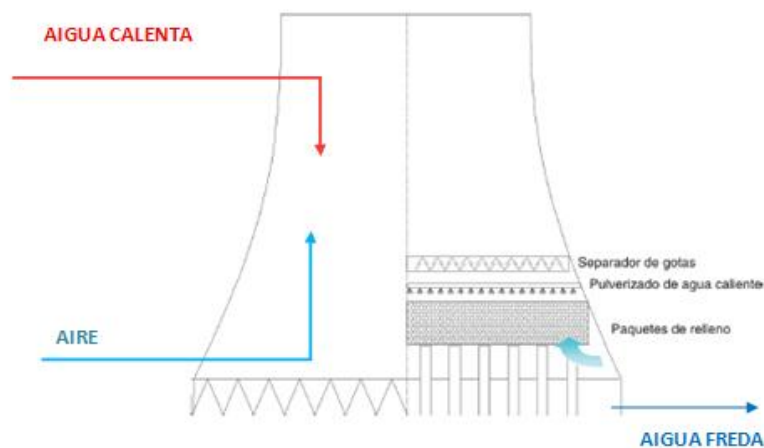


Figura 2.50 Esquema de les torres de refrigeració de tir natural (Font: ref(28))

#### *TORRE DE REFRIGERACIÓ DE TIR FORÇAT, MECÀNIC O INDUIT*

Dins d'aquets grup de torres de refrigeració tenim tres tipus, tir forçat, tir a contracorrent i tir creuat (28).

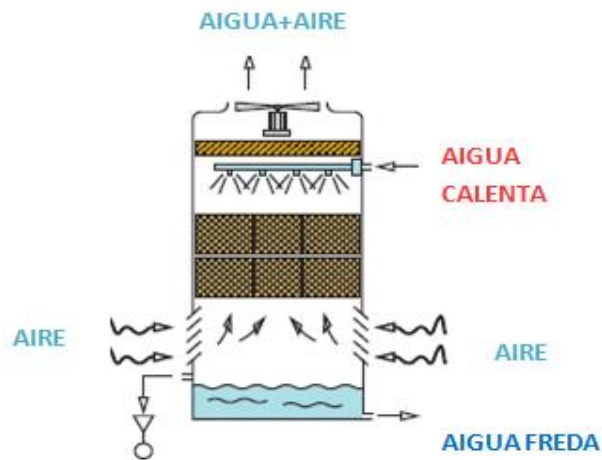
*TIR CONTRACORRENT*

Figura 2.51 Esquema de les torres de refrigeració de tir contracorrent (Font:ref(29))

Es disposa d'un ventilador en la part superior de la torre que provoca el moviment del flux d'aire des de la part inferior de la torre fins la part superior d'aquesta (29). L'aigua es introduïda mitjançant ruixadors.

Una part important del consum energètic d'aquesta torre és el moviment continuat del ventilador.

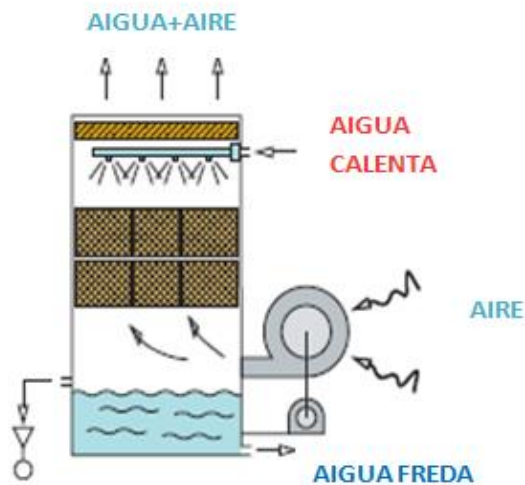
*TORRE DE TIR FORÇAT*

Figura 2.52 Esquema de les torres de refrigeració de tir forçat (Font:ref(29))

En aquest cas es necessita d'una bomba que impulsi l'aire amb més força en un únic lateral de la torre, per tant, el consum energètic dependrà d'aquesta bomba.



## TORRE DE TIR CREUAT

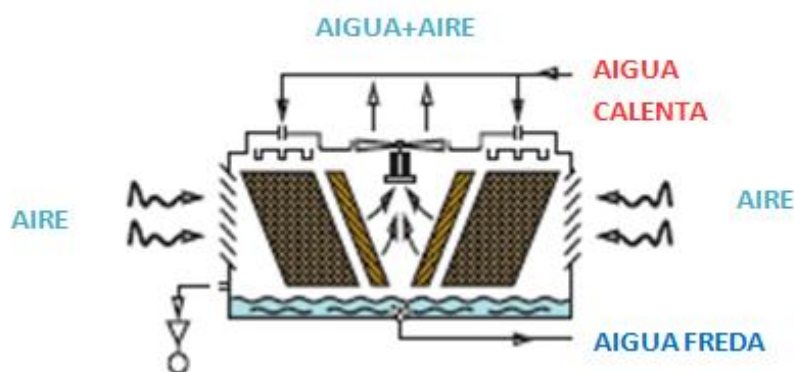


Figura 2.53 Esquema de les torres de refrigeració de tir creuat (Font:ref(29))

En aquest cas l'aire entra a través d'unes comportes laterals tal i com la torre de tir contracorrent, però aquestes estan dipositades per tot el lateral de la torre.

Com que disposa d'un ventilador a la part superior de la torre, el consum energètic serà comparable a la torre de tir a contracorrent.

**Tipus de refrigeració**

Si recapitem, hem dit que el sistema tancat disposava de torres de refredament, les més utilitzades són les torres de refrigeració humida però a part d'aquesta, comentada anteriorment, també hi ha altres tipus de refrigeració: la refrigeració seca i la refrigeració híbrida.

○ **Refrigeració seca**

La refrigeració seca es basa en l' utilització de ventiladors per tal de reduir la temperatura de l'aigua de sortida. Com a avantatge d'aquests tipus de refrigeració tenim que reduïm el consum d'aigua un 90%. Però d'altra manera que té un elevat consum d'energia, a causa del funcionament dels ventiladors, el que en resultat seria consumir energia per a la producció d'energia.

En definitiva, l'ús de la refrigeració seca és entre 2 i 4 vegades més car que la refrigeració humida, a més que la refrigeració seca és menys eficient que l'humida. Aquest tipus de refrigeració s'utilitza en llocs amb escassetat d'aigua (17).

Taula 2.6 Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit tancat i refrigeració seca (Font:Pròpia)

AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LES CENTRALS QUE UTILITZEN CIRCUIT TANCAT I REFRIGERACIÓ SECA	
Avantatges	Inconvenients
Zero o mínima extracció d'aigua del riu	Cost més elevat el sistema tancat amb refrigeració humida i del sistema obert. És la central menys eficient. Requereix de grans extensions de camp.

### ○ Refrigeració híbrida

La refrigeració híbrida és una combinació de la refrigeració humida i la refrigeració seca, es basa en els condensadors evaporatius (28). Conté un serpentí addicional en la part superior que efectua un intercanvi previ en sec abans de començar amb el procés evaporatiu. En termes de consum energètic i consum d'aigua es troba entre mig del dos tipus de refrigeració comentats anteriorment.

**Taula 2.7 Avantatges i inconvenients de les centrals que utilitzen circuit tancat i refrigeració híbrida (Font: Pròpia)**

AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LES CENTRALS QUE UTILITZEN CIRCUIT TANCAT I REFRIGERACIÓ HÍBRIDA	
Avantatges	Inconvenients
Cost més reduït que la central amb refrigeració seca.	Cost més elevat que les centrals amb refrigeració humida.
Consum d'aigua més reduït que la central amb refrigeració humida.	

A continuació mostrem una taula on es compara els diferents tipus de refrigeració comentats anteriorment.

**Taula 2.8 Esquema resum dels avantatges i inconvenients de cada tipus de central termoelèctrica (Font: ref(27))**

	CONSUM D'AIGUA	COST ENERGÈTIC	EFICIÈNCIA DE LA PLANTA	IMPACTE ECOLÒGIC
<b>CIRCUIT OBERT</b>	Moderat	Reduït	Més eficient	Intens
<b>CIRCUIT TANCAT AMB TORRES DE REFRIGERACIÓ HUMIDA</b>	Intens	Moderat	Eficient	Moderat
<b>CIRCUIT TANCAT AMB REFRIGERACIÓ SECA</b>	Cap	Molt Elevat	Menys eficient	Reduït
<b>CIRCUIT TANCAT AMB REFRIGERACIÓ HÍBRIDA</b>	Moderat	Elevat	Menys eficient	Reduït

El sistema que suposa més consum d'aigua és el sistema de refrigeració amb torres de refrigeració consumiran més  $m^3$  d'aigua per kWh generat.

El sistema que té més avantatges en general és el sistema de circuit obert, ja que, té un cost reduït, és molt eficient i no té un consum elevat d'aigua, però si que provoca un elevat impacte ecològic a causa de la contaminació tèrmica que provoca.

La refrigeració seca tot i que no comporta cap consum d'aigua si que té un elevat consum d'energia, el que suposa un elevat cost i com a conseqüència de que l'aire no és tan eficient

com l'aigua en termes de transferència de calor, la planta termoelèctrica que utilitza aquest tipus de refrigeració és la menys eficient.

El sistema de refrigeració que estan adoptant les centrals últimament és el sistema híbrids. Aquest sistema redueix el consum d'aigua entre un 80%-90% respecte altres sistemes de refrigeració, per això el seu ús està en augment. Per aconseguir aquesta reducció de consum d'aigua les centrals pateixen un augment de consum energètic d'entre 2 % i 10% (17).

### ❖ **Conclusió**

Com hem pogut observar en els apartats anteriors, la generació d'energia les suposa un elevat consum d'aigua.

La reducció de consum d'aigua en les centrals termoelèctriques es podria aconseguir mitjançant la introducció de sistemes avançats de refrigeració, que generalment, suposen un menor consum d'aigua però un major consum d'energia.

Generalment, les centrals que generen energia elèctrica haurien d'explotar altres recursos com l'aigua salada, l'aigua residual tractada, l'aigua provinent de la pluja, la reutilització d'aigua. Implementant aquestes tècniques, aconseguiríem una millor conservació de l'aigua dolça del planeta.

En el cas d'estudi en el tram del Riu Llobregat, en aquest moment no hi ha cap central termoelèctrica en funcionament. La central tèrmica de Cercs (de carbó) va tancar després de 40 anys de funcionament, l'any 2011.(30)

### ❖ **Comparativa de consum d'aigua d'una central hidroelèctrica amb una centrals termoelèctriques**

Les pèrdues per evaporació presentades per els embassaments hidroelèctrics poden arribar a ser més grans que els consum d'aigua de les centrals termoelèctriques amb capacitat de generació similar (17). Per exemple, les Unidades de Vogtle nuclear 1 i 2 en Georgia amb una capacitat de producció d'energia de 2.865MW i amb un sistema de refrigeració humit amb torres de refrigeració consumeix 60Mm<sup>3</sup>/any (31), mentre que les pèrdues per evaporació en el embassament de la central hidroelèctrica Yacyretá en la frontera de Argentina i Paraguay amb una capacitat de 2.7000 MW, similar a la central anterior, suposen un total de 3.280Mm<sup>3</sup>/any (32), un consum d'aigua molt superior.

Per tant, observant aquest dos casos podem veure que hi haurà elevada pèrdua d'aigua per part de les centrals hidroelèctriques. Però això es podria raonar dient que tot i que les centrals hidroelèctriques no hi s'estiguessin instal·lades aquests embassaments continuarien existents, per tant, les pèrdues per evaporació continuarien estant.

D'altra banda, hi ha embassaments que només s'han construït per abastir aigua a les centrals hidroelèctriques. En aquest casos s'ha de considerar la petjada hídrica que suposen aquestes centrals.

En el cas d'estudi estudiem l'energia hidroelèctrica produïda en un tram del Llobregat, des de Castellar de N'hug fins a Manresa. En aquest recorregut hi ha un total de 37 centrals hidroelèctriques, de les quals 28 són centrals mini-hidroelèctriques, considerant que les centrals mini-hidroelèctriques són aquelles que tenen una potència entre 100 i 1.000 kW. Per tant, aproximadament el 75,7% de les centrals estudiades del Llobregat són centrals mini-hidroelèctriques.

Com a conseqüència d'aquest fet, hem de donar certa importància al estudi de les centrals mini-hidroelèctriques.

### **2.6.5 Xarxes de calor centralitzada (biomassa)**

La biomassa és considerada una energia renovable. S'entén com a biomassa tot aquell residu vegetal i es pot aconseguir energia mitjançant la seva combustió. Gràcies a l'energia que capten del Sol, els organismes vegetals poden realitzar les seves funcions metabòliques, i d'alguna forma quan aquesta matèria vegetal mor i la cremem per obtenir energia, ens està retornant l'energia calorífica que havia captat del Sol.

Una xarxa de calor centralitzada es basa en el transport subterrani de l'energia tèrmica generada per la combustió de la biomassa en les centrals de biomassa.

Les xarxes de calor consisteixen en una central de biomassa i un sistema de distribució subterrani (33), tal i com es mostren a la imatge (Figura 2.54), que proporciona als domicilis aigua calenta sanitària i calefacció. La central de biomassa consta d'una o més calderes de biomassa, on es realitza la combustió de la biomassa, l'energia tèrmica dissipada per aquesta combustió s'aprofita per escalfar l'aigua que resideix en les parets de les calderes, aquesta aigua arriba a una temperatura de 90°C aproximadament (33).

Un cop l'aigua arriba a aquesta temperatura és transportada per un sistema de distribució subterrani. Aquest sistema de distribució està basat en canonades ben aïllades, que s'instal·len al subsòl de la ciutat o dels polígons industrials i condueix l'aigua calenta, des de la central de biomassa fins als diferents edificis. En cadascun dels edificis que utilitzin l'energia provinent de la biomassa, hauran de tenir instal·lats una sub-estació d'intercanvi. Aquestes sub-estacions es basen en intercanviadors de calors que transmeten la calor de l'aigua provinent de la central de biomassa a l'aigua de la xarxa que entra al domicili, d'aquesta manera les dues aigües no intercanvien matèria, ja que no hi ha contacte, però sí que intercanvien energia tèrmica. L'aigua de la xarxa es escalfada per poder entrar al domicili o dels polígons industrials, ja sigui com a aigua sanitària o com a aigua de calefacció, i aigua d'escalfament.(33)

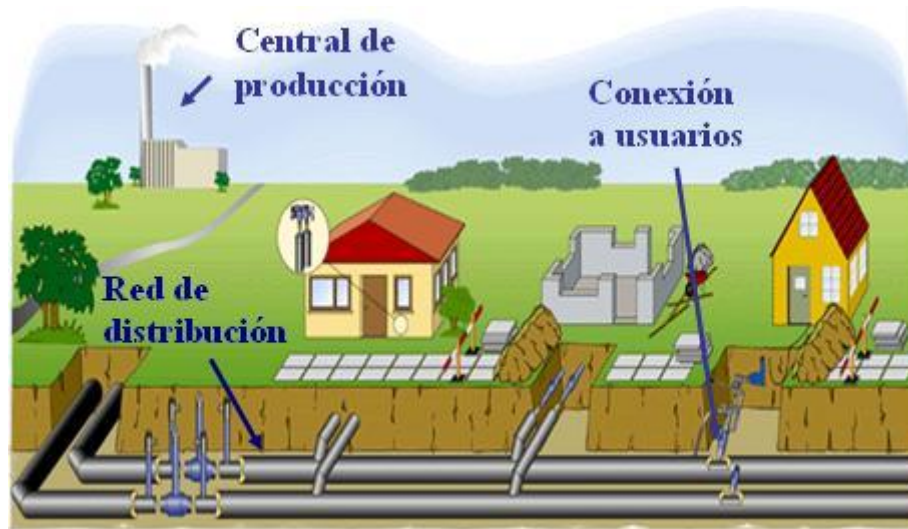


Figura 2.54 Central de biomassa i xarxa de distribució (Font: ref(34))

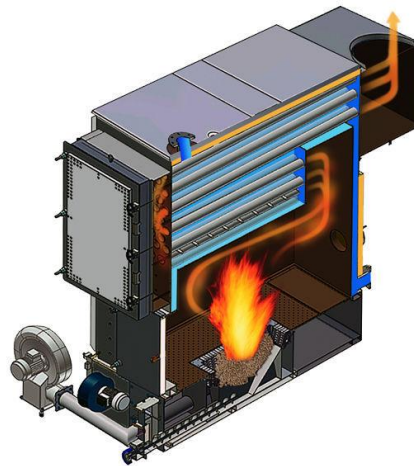


Figura 2.55 Caldera de Biomassa (Font: ref(35))

Les xarxes de calor centralitzades s'estan començant a implementar paulatinament en diverses ciutats a causa dels diversos avantatges que suposa, tals com:

- El cost de l'energia obtinguda mitjançant la biomassa està molt per sota que la dels altres combustibles. Si en comptes de distribuir l'aigua calenta a 90 °C, l'escalfem més, aconseguim vapor d'aigua, aquest vapor pot accionar turbines per tal de generar electricitat, i finalment, l'energia produïda per aquesta via és més econòmica que l'energia obtinguda mitjançant altres combustibles.
- La biomassa presenta un benefici mediambiental ja que és un recurs natural i renovable.
- La biomassa suposa un benefici social-econòmic, ja que és producte local, per tant, es redueixen les importacions d'altres combustibles internacionals (gas o gasoil).
- La recollida de l'anomenada biomassa (restes vegetals) ajuda a la neteja dels boscos cosa que permet la reducció de la propagació d'incendis.
- Les centrals de biomassa donen un ús a residus agraris, tals com la palla.

La biomassa és una energia renovable que cada vegada està més en ús, per tots els avantatges que presenta, i per aquesta raó, s'estima que per l'any 2020 a Catalunya l'energia de la biomassa sigui la segona energia renovable més utilitzada, amb una utilització del 16,6%, després de l'eòlica i abans que l'energia hidràulica, tal i com mostra figura 2.56.

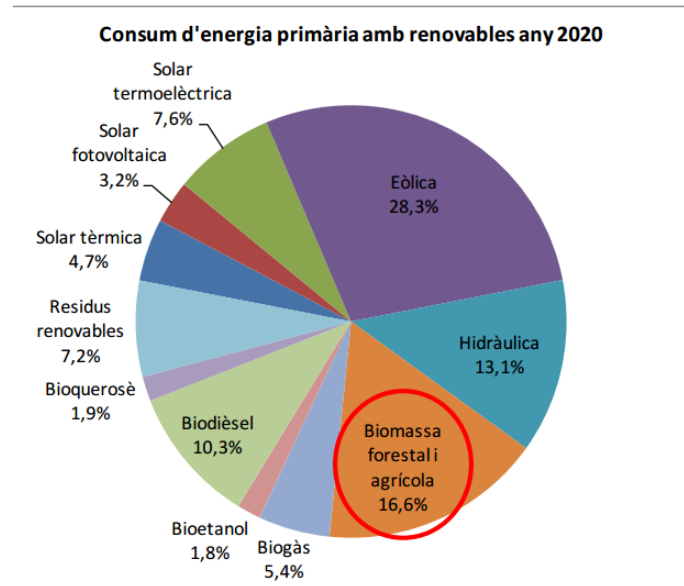


Figura 2.56 Consum d'energia primària amb renovables any 2020 (Font:ref(36))

En el cas d'estudi s'està posant en marxa una xarxa de calor centralitzada al polígon industrial de La Valldan (Berga) aprofitant la biomassa forestal de la zona. El projecte és liderat per la Mancomunitat de Municipis Berguedans per a la Biomassa. (36)

### 3.CAS D'ESTUDI

#### 3.1 Descripció de la Conca del riu Llobregat

La conca del Llobregat està dins del grup de les conques internes de Catalunya. Aquestes conques internes contemplen, les conques dels rius: Muga, Fluvià, Ter, Daró, Tordera, Besòs, Foix, Gaià, Francolí i Ruidecanyes.

A continuació es mostra un mapa on s'indiquen les conques internes principals de Catalunya.

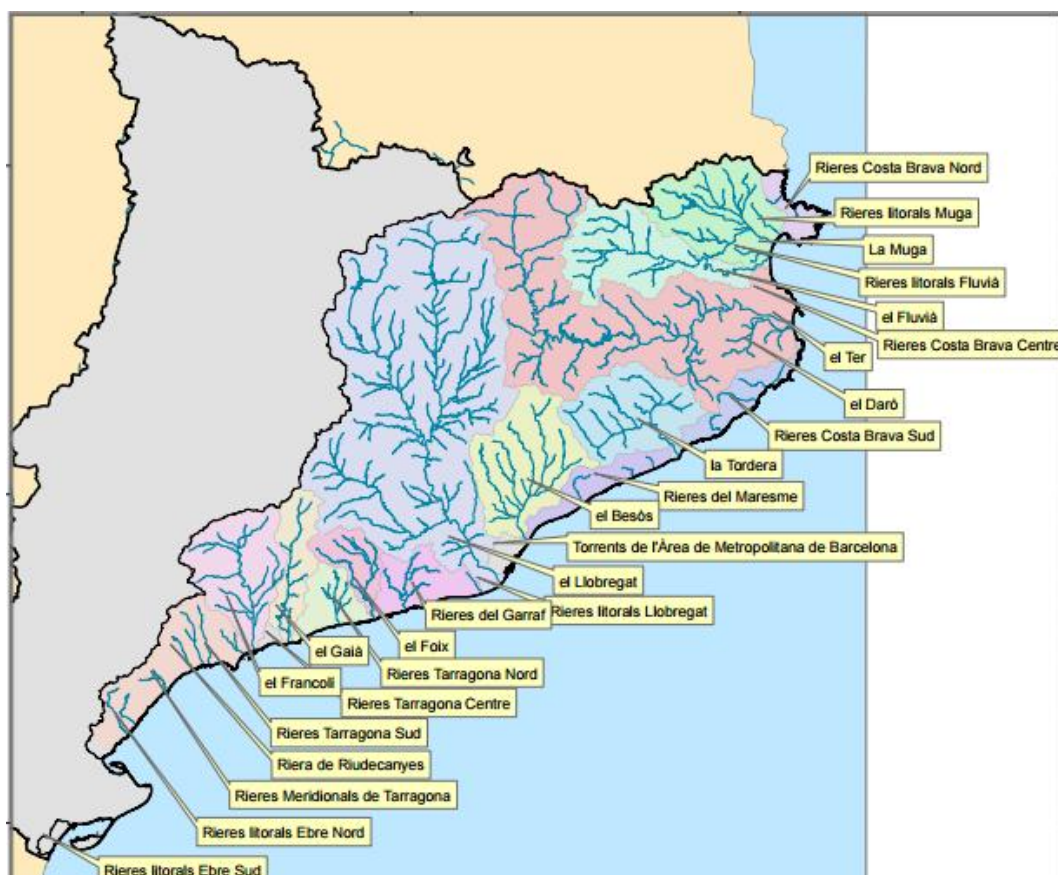


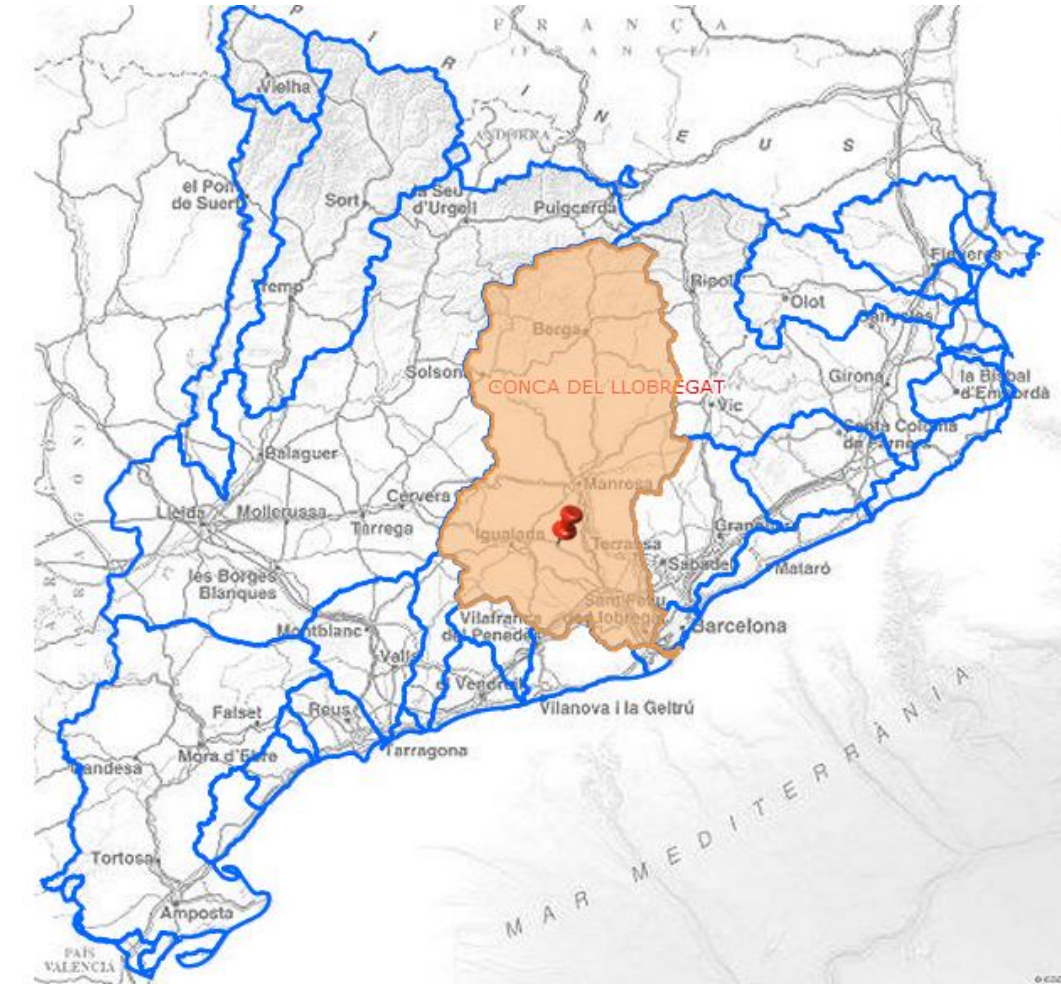
Figura 3.1 Conques internes de Catalunya (Font: *Hipermapa*)

La conca del Llobregat es troba en l'eix central de la província de Barcelona, geogràficament es troba en el centre de Catalunya. Els principals afluents del Llobregat són el riu Cardener i el riu Anoia.

El Llobregat neix a Castellar de N'hug (Berguedà), aquesta població es troba a 1.295m d'altitud, i desemboca en el Prat de Llobregat (Baix Llobregat).



Tal i com es pot veure a la figura 3.2 la conca del Llobregat està pràcticament situada en el centre de Catalunya, com hem mencionat anteriorment. Tant el riu Llobregat com els seus afluents recullen aigua d'una superfície de 4.957 km<sup>2</sup> i recorren una longitud de 157 km.(37)



**Figura 3.2 Conca del Llobregat (Font: Hipermapa)**



A continuació es mostra un mapa on queden reflectides les comarques que es troben a l'interior de la conca del Llobregat.



**Figura 3.3 Comarques de la conca del Llobregat (Font: ref(37))**

Per tant, les comarques de la conca del Llobregat són: la comarca del Berguedà, la del Bages, la del Solsonès, L'Anoia, l'Alt Penedès, Baix Llobregat i part del Vallès Occidental, tal i com mostra la figura 3.3. En el cas d'estudi únicament tenim en compte les comarques del Bages i del Berguedà. L'altitud de la conca varia entre 650 i 2550 metres. (37)

Exactament, els pobles que travessa són els següents: Castellar de N’hug, Cercs, Guardiola de Berguedà, Berga, Olvan, Gironella, Puig Reig, Navàs, Balsareny, Navarcles, Sallent, Manresa, Castellsalí, St. Vicenç de Castellet, Esparraguera, Olesa de Montserrat, Martorell, St. Andreu de la Barca, St. Vicenç dels Horts, St. Boi de Llobregat, Molins de Rei i Prat de Llobregat.



A continuació farem el recorregut del Llobregat, mostrant els punts més importants. Primerament mostrem on neix el riu Llobregat: Castellar de N'hug.

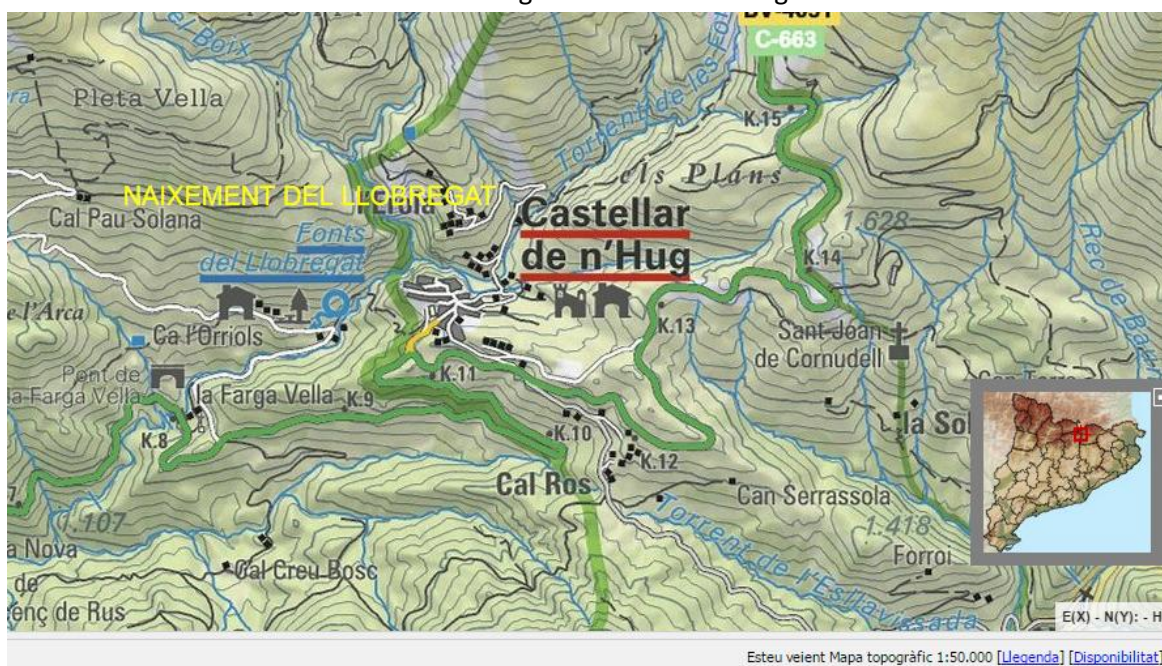


Figura 3.4 Mapa de Castellar de N'hug (Font: ICGC)

Si continuem el recorregut del Llobregat, el següent que trobem és l'embassament de Baells, aquest és l'únic pantà que es troba en el riu Llobregat, però no és l'únic que es troba a la conca de Llobregat.



Figura 3.5 Mapa de l'embassament de Baells (Font: ICGC)



Aquest embassament té una capacitat màxima de  $109,430 \text{ hm}^3$ , es troba en el terme municipal de Cercs, població que pertany a la comarca del Berguedà.

La pàgina oficial de l'ACA ens permet saber quina és la capacitat d'aquest i d'altres embassaments de Catalunya. Tal i com es mostra a la figura 3.6, la capacitat de l'Embassament de Baells a dia de 21 de juny del 2016 és de  $99,8 \text{ hm}^3$  (38), aquest dia l'embassament es troba al 91% de la seva capacitat.

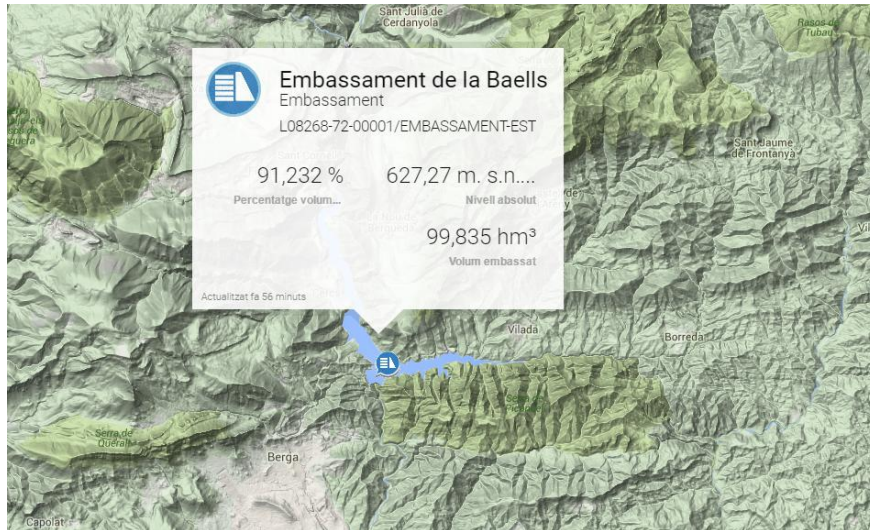


Figura 3.6 Informació sobre l'embassament de Baells (Font: ref(38))

Aquest embassament és el més important de la conca del Llobregat, ja que, és el que més volum d'aigua pot emmagatzemar.



Figura 3.7 Fotografia de l'embassament de Baells. (Font: ref(38))



Un altre embassament que hi ha en la conca del Llobregat és el pantà de Llosa del Cavall, aquest pertany al riu Cardener.

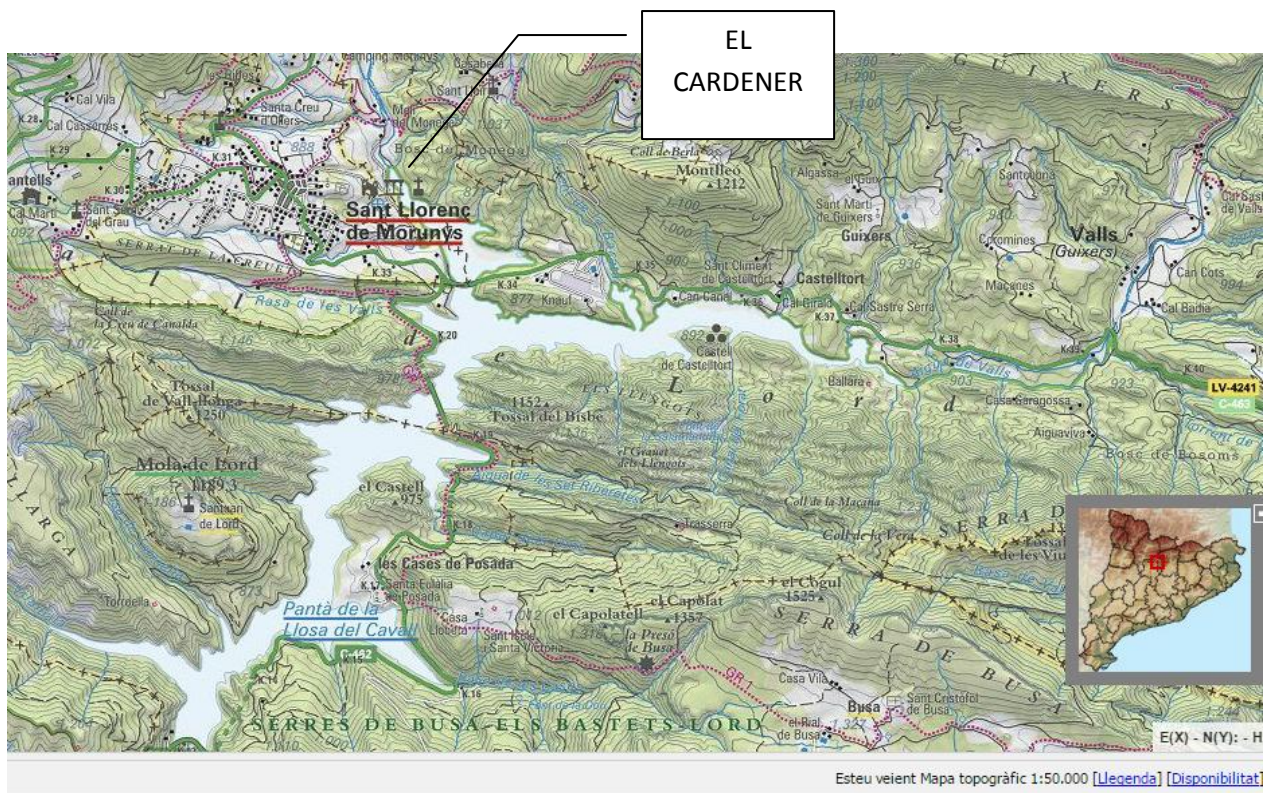


Figura 3.8 Mapa de l'embassament de la Llosa del Cavall (Font: ICGC)

A partir de la de l'ACA igual que anteriorment, consultem l'estat d'aquest pantà a dia d'avui, 22 de juny del 2016. Aquest pantà es troba a la comarca del Solsonès, terme municipal de Navès. La capacitat màxima d'aquest embassament és de  $80 \text{ hm}^3$  i la capacitat a dia d'avui es de  $68,6 \text{ hm}^3$  (38), per tant, aquest pantà es troba al 86% de la seva capacitat.

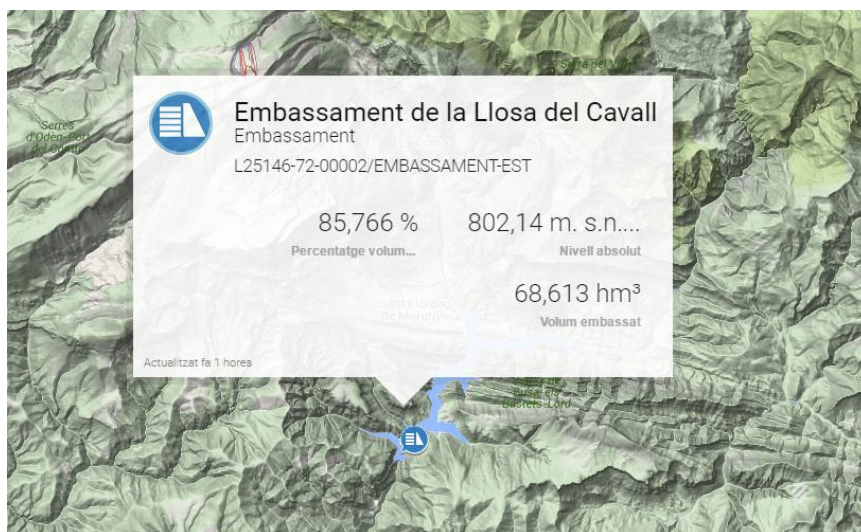


Figura 3.9 Informació sobre l'embassament de la Llosa del Cavall (Font:ref(38))



L'últim embassament que apareix en la conca del Llobregat és el embassament de Sant Ponç, aquest també pertany al riu Cardener.

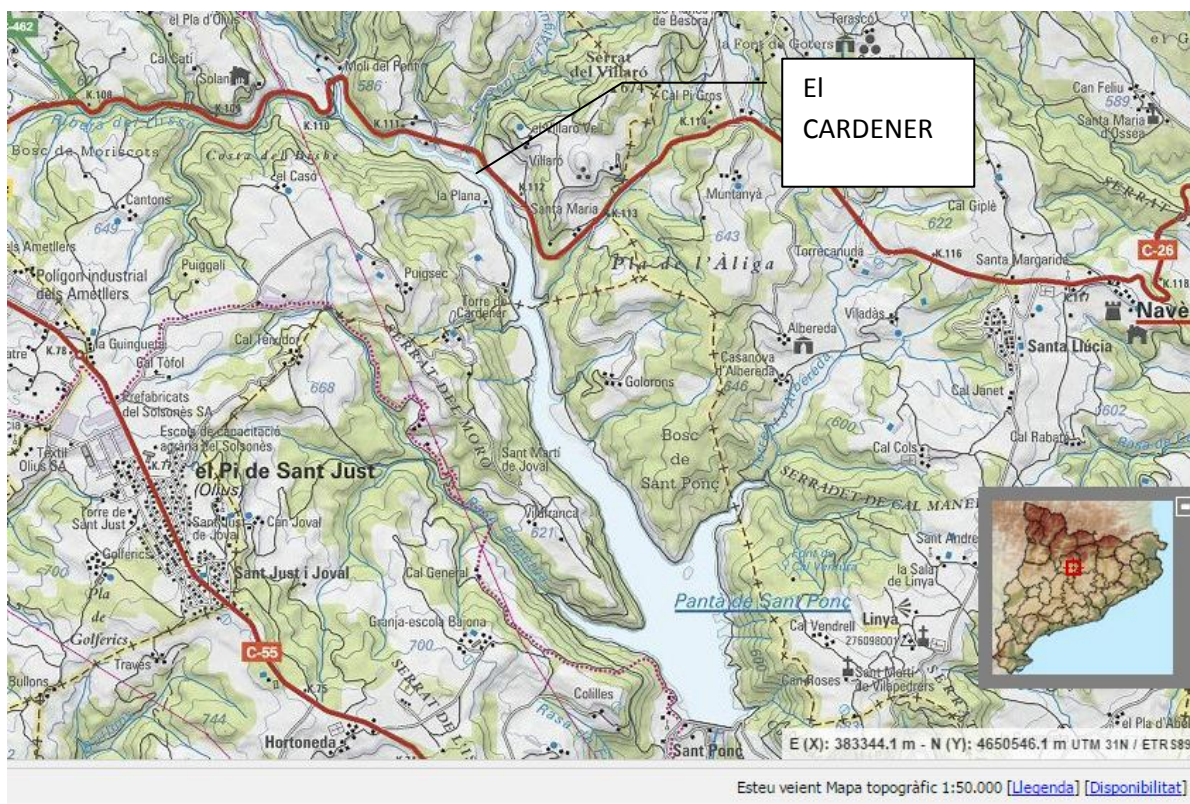


Figura 3.10 Mapa embassament de Sant Ponç (Font: ICGC)

Aquest pantà és el més petit dels tres embassaments de la conca del Llobregat, té una capacitat màxima de  $24,38 \text{ hm}^3$ . A dia d'avui, 22 de juny del 2016, el pantà es troba al 88,4% de la seva capacitat, o sigui, té embassat un volum de  $21,58 \text{ hm}^3$ . (38)

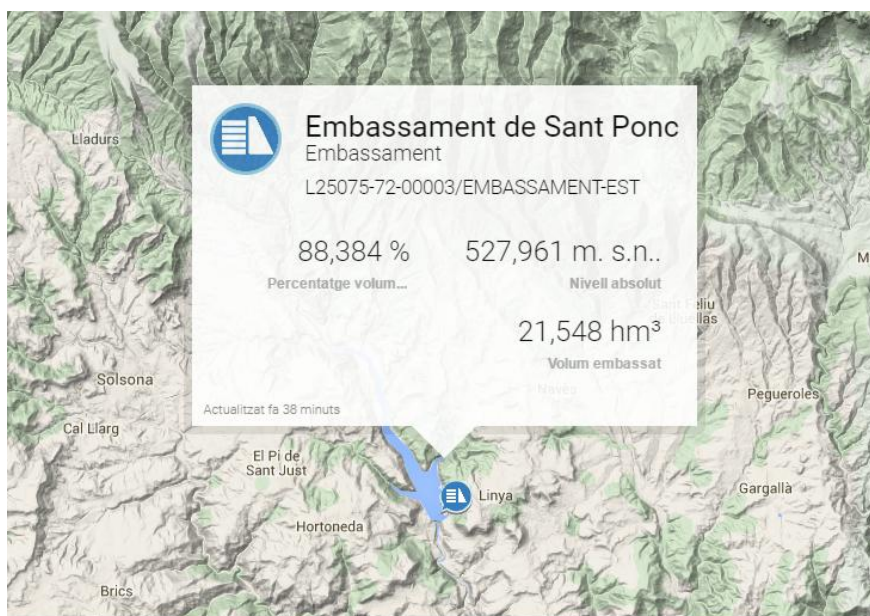


Figura 3.11 Informació sobre l'embassament de Sant Ponç (Font: ref(38))

A data d'avui els embassaments de la conca interna de Catalunya es troben de mitjana al 79% de la seva capacitat tal i com es mostra a la figura següent (figura 3.12). Tot i que, els embassaments de la conca del Llobregat, que hem vist anteriorment, tots superen aquest percentatge.

La mitjana de capacitat dels embassaments de la conca del Llobregat estudiats és del 88,5 %.

Com podem veure a la figura 3.12, la capacitat dels pantans actuals (79%), és inferior a la capacitat dels mateixos pantans fa un any(91%).

La capacitat dels embassaments de les conques internes de Catalunya, on està inclosa la conca del Llobregat, té la capacitat de emmagatzemar un total de 694 hm<sup>3</sup> com a màxim, en canvi, les conques catalanes de l'Ebre tenen la capacitat d'emmagatzemar més volum d'aigua, 2.264 hm<sup>3</sup> com a màxim.

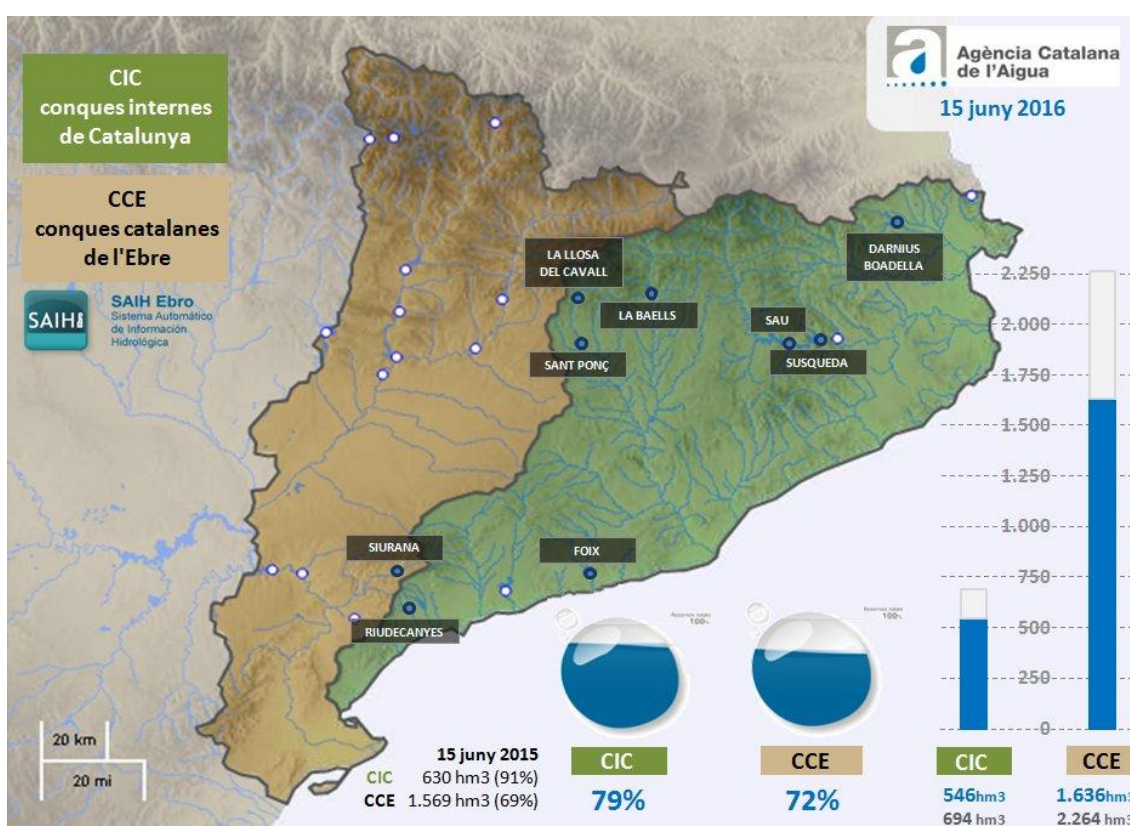


Figura 3.12 Capacitat dels pantans de Catalunya (Font: ACA)



El següent punt important en el recorregut del Riu Llobregat és la unió d'aquest amb un dels seus afluents més importants, el Cardener. Aquest pertany a la província de Lleida. Aquest punt és important, ja que a partir d'aquí és on el riu Llobregat transporta més cabal. Tal i com es veu a la figura 3.13, la unió entre aquests dos rius es dona a l'alçada de la població de Castellgalí.

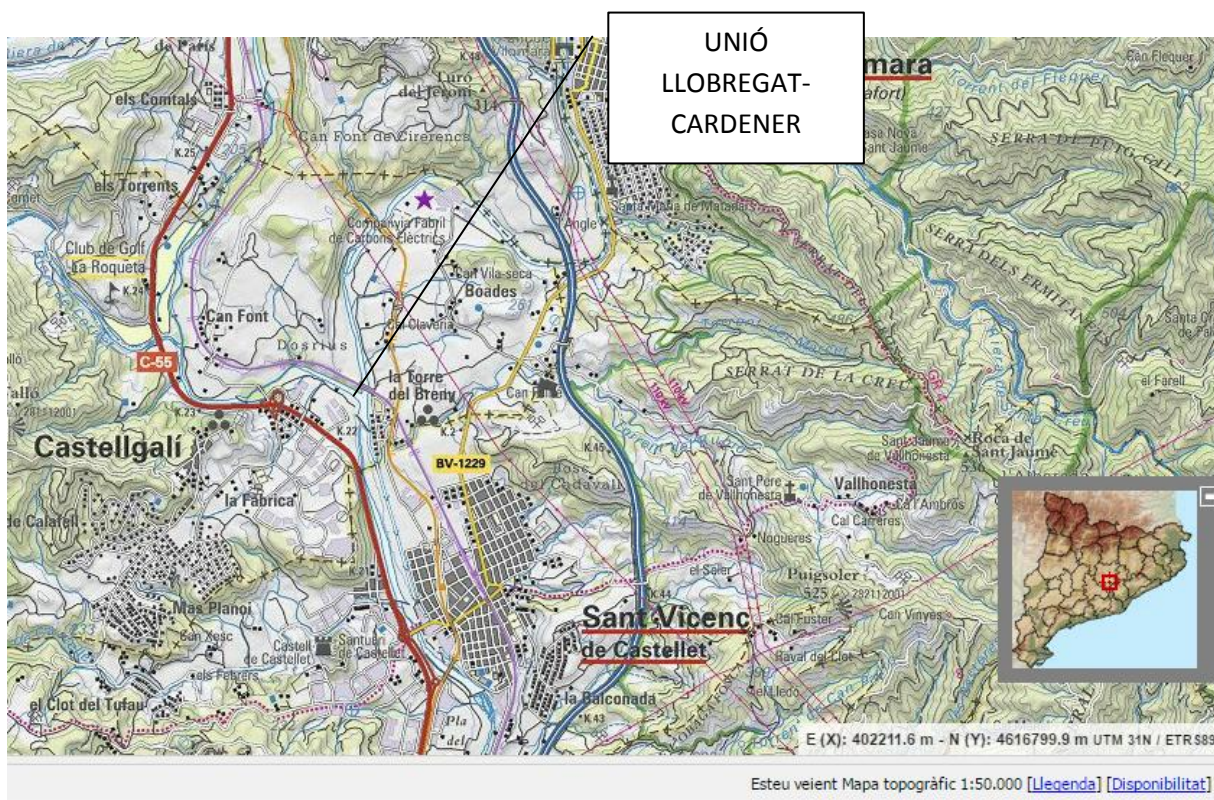


Figura 3.13 Mapa de la unió entre el riu Cardener i el riu Llobregat (Font: ICGC)

A continuació ampliarem aquesta zona per veure millor aquesta unió:

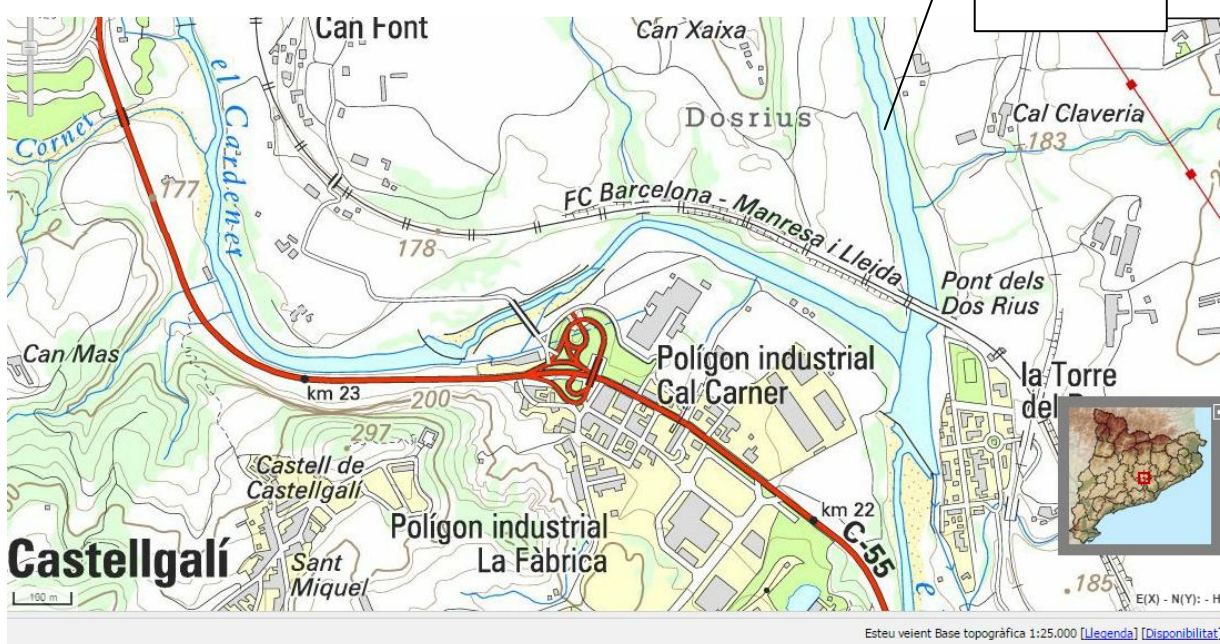


Figura 3.14 Mapa de la unió entre el riu Cardener i el riu Llobregat (Font: ICGC)



Com hem dit anteriorment, el riu Anoia és un dels afluents importants del riu Llobregat, aquests dos s'uneixen a l'alçada de Martorell, tal i com es mostra a la figura 3.15.

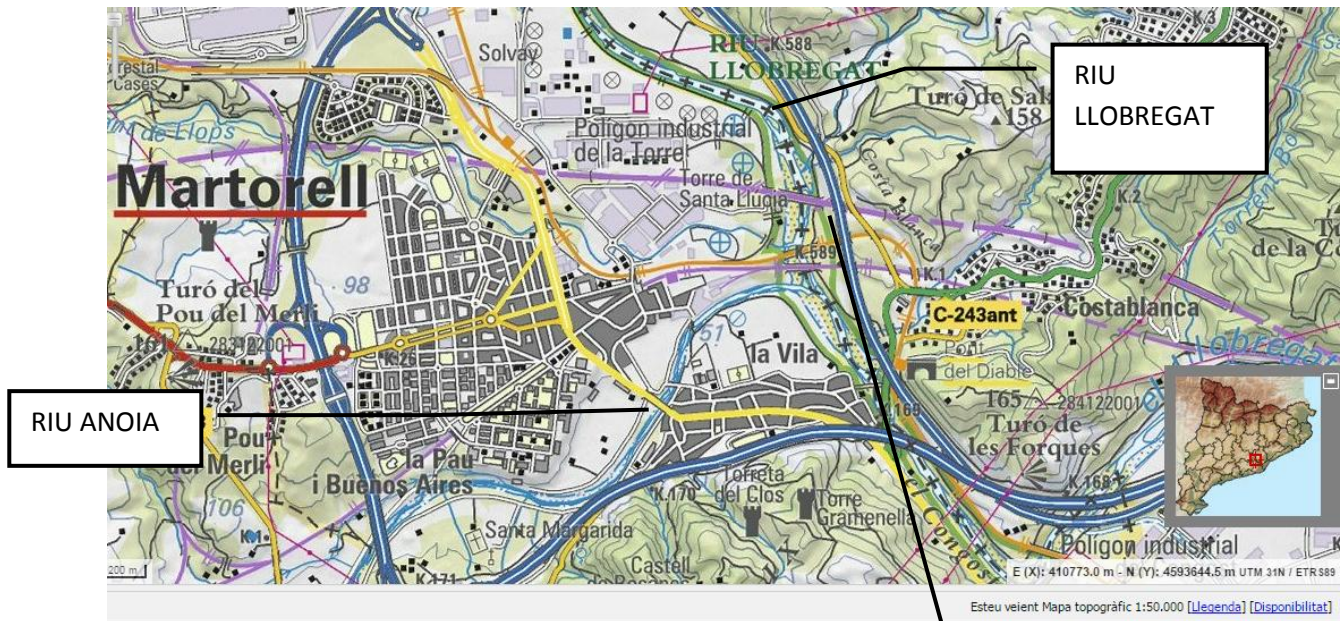


Figura 3.15 Mapa de la unió entre el riu Llobregat el riu Anoia (Font: ICGC)

A continuació ampliarem aquesta zona per veure millor aquesta unió:

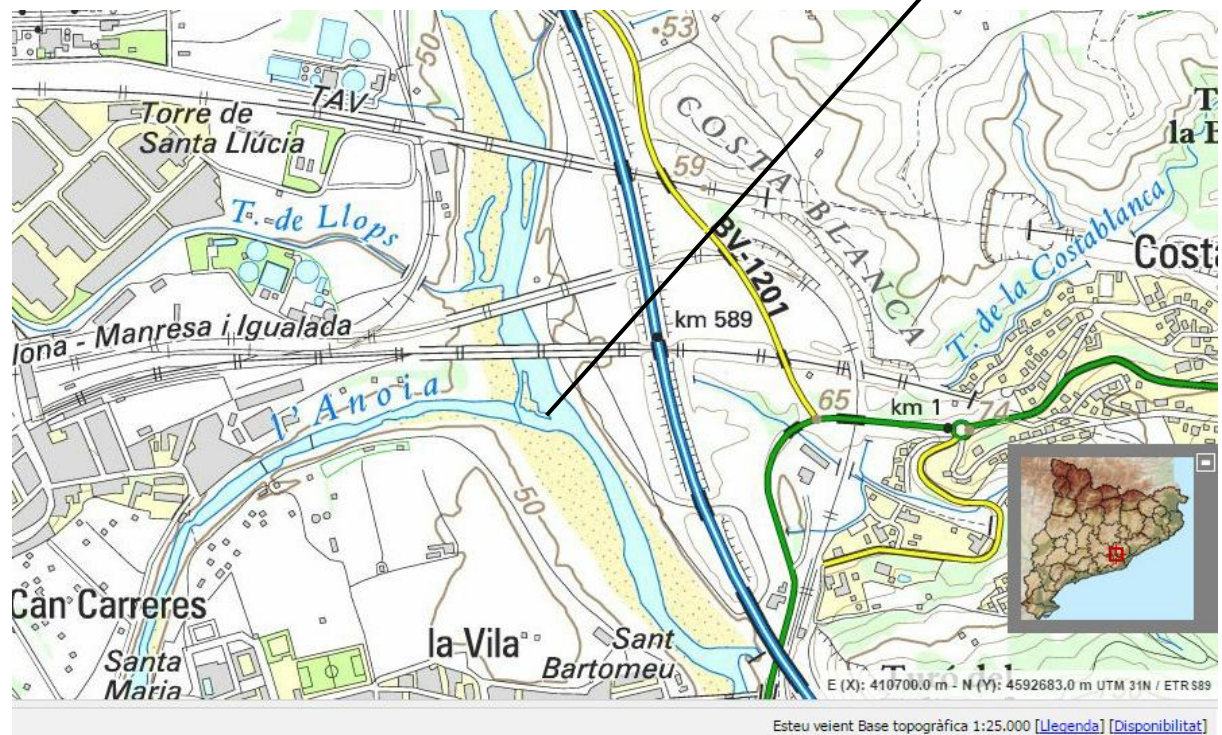


Figura 3.16 Mapa de la unió entre el riu Llobregat el riu Anoia (Font: ICGC)



Finalment, es mostra la desembocadura del riu Llobregat, en el mar Mediterrani, aquesta es troba a l'alçada de la població del Prat de Llobregat.

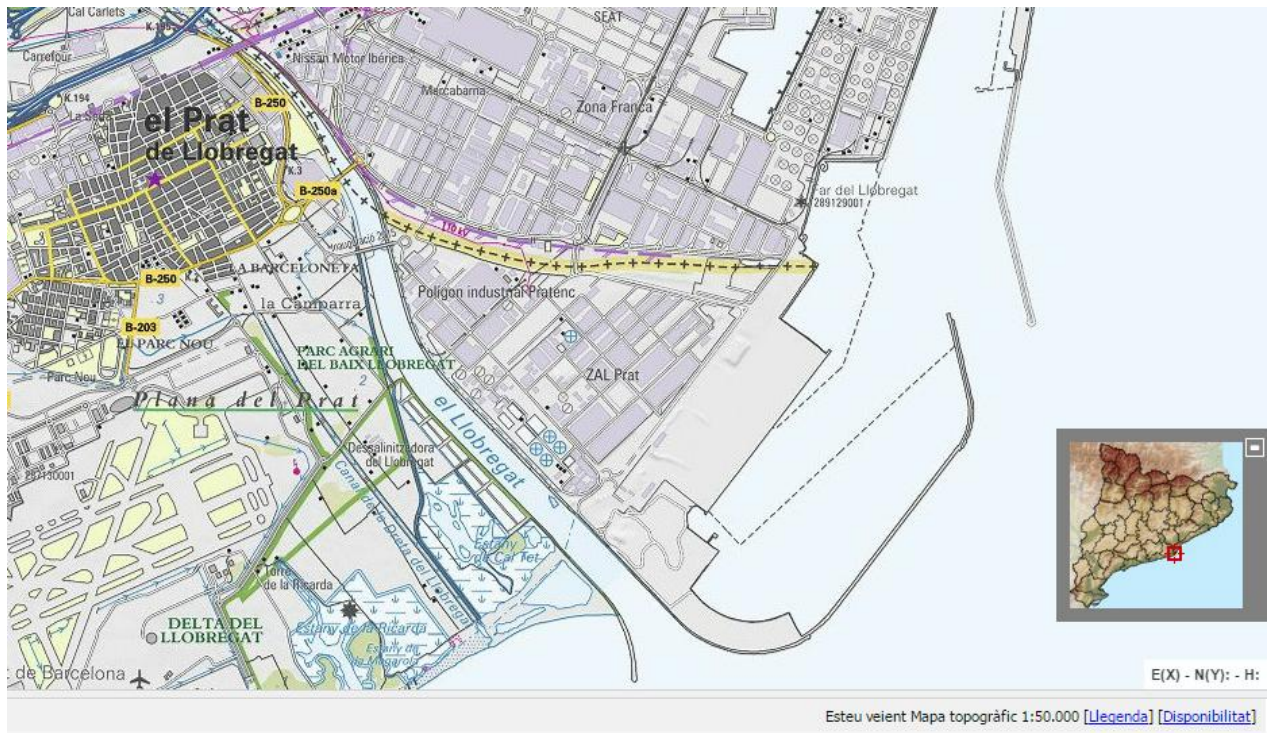


Figura 3.17 Mapa de la desembocadura del riu Llobregat (Font:ICGC)

### 3.1.1 Cabal del riu Llobregat

La pàgina oficial de l'ACA ens permet veure l'estat de l'aigua en temps real. Utilitzant aquesta informació veurem el cabal del Llobregat en diferents punts. En la pàgina ens apareix el següent mapa on cada punt simbolitza una estació de control.



Figura 3.18 Mapa de les estacions de control instal·lades en Catalunya (Font: ref (39))

Cadascuna de les estacions de control, marcades a la figura 3.18 amb números del 1 al 5, donen informació sobre el cabal del riu, el nivell d'aquest i la pluja acumulada del dia.

Seguidament, veurem les dades proporcionades per cadascuna de les estacions.

Per saber com s'han aconseguit aquestes dades, veure **ANNEX A**

## 1. Estació 1 : Guardiola de Berguedà.

La primera estació de control que trobem en el riu Llobregat és una estació que està situada en Guardiola de Berguedà i les dades obtingudes són les següents:

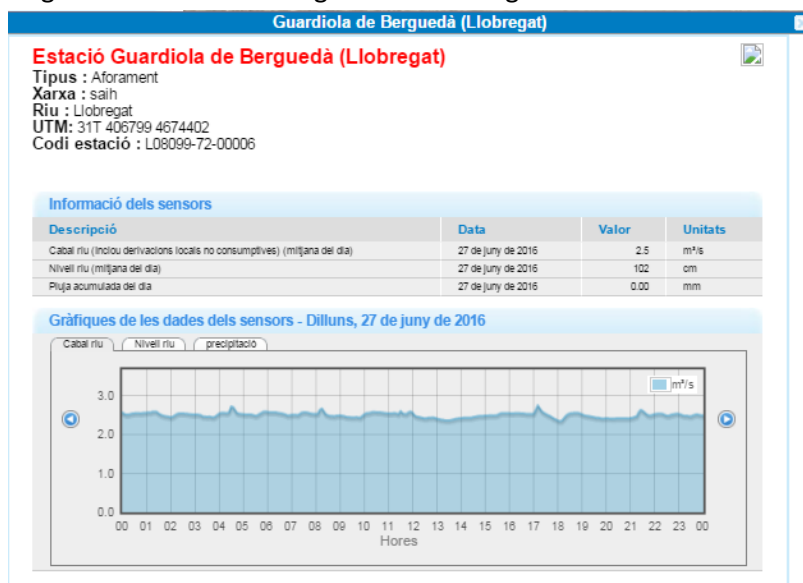


Figura 3.19 Recull de dades de l'estació de control de Guardiola de Berguedà (Font: ref(39))

Com podem veure a la figura anterior, el cabal del riu en aquest punt és de 2.5 m³/s, i el nivell és de 102 cm (39). No disposa de cap acumulació d'aigua de la pluja en aquell dia. A més es pot veure l'evolució del cabal del riu durant les últimes hores, i com podem veure, aquest no és constant.

## 2. Estació 2 : Berga (Olvan)

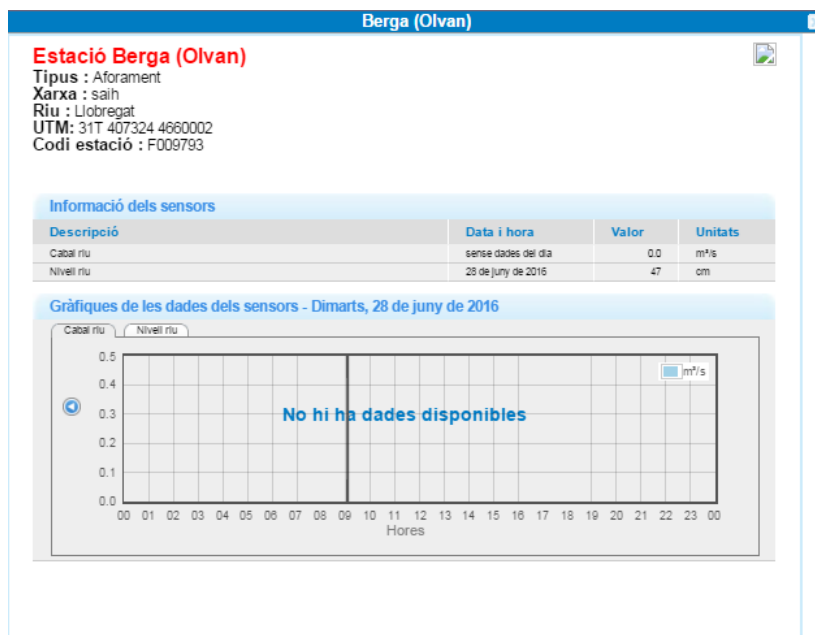


Figura 3.20 Recull de dades de l'estació de control de Berga (Olvan) (Font: ref(39))

Com podem veure, a dia d'avui no hi ha dades de cabal del riu en aquesta estació, però sí que n'hi ha del nivell d'aquest, 47 cm (39). Aquest, respecte el nivell en Guardiola de Berguedà és inferior.

### 3. Estació 3: Sallent

Aquesta estació no disposa a dia d'avui cap dada de cabal ni de nivell del riu tal i com es mostra a la figura següent:

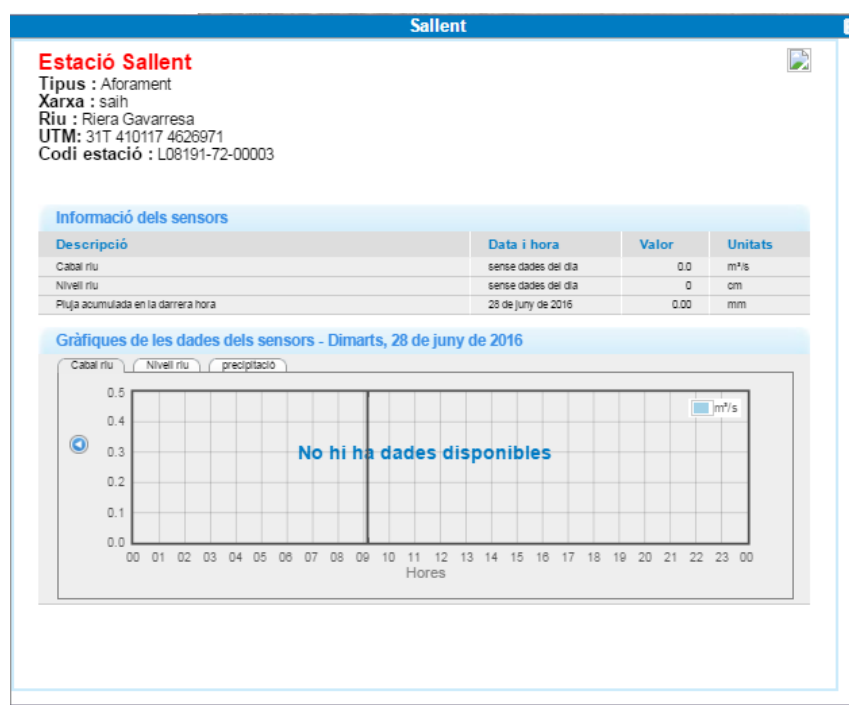


Figura 3.21 Recull de dades de l'estació de control de Sallent (Font: ref(39))

### 4. Estació 4: Castellbell i el Vilar.

La següent estació que es troba és la de Castellbell i el Vilar, aquesta població es troba després de la unió entre el Cardener i el Llobregat, conseqüentment en aquest punt el cabal ha de ser superior que en l'estació de control anterior.



Figura 3.22 Recull de dades de l'estació de control de Castellbell i el Vilar (Font: ref(39))

Tal i com havíem previst, el cabal es superior a l'estació anterior, exactament de  $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . El nivell en canvi, és inferior que anteriorment, ara és de 26 cm (39). A més, en aquest cas també podem veure la fluctuació del cabal, una fluctuació molt notòria tal i com es pot veure en la figura 3.22.

### 5. Estació 5: Sant Joan Despí.

L'última estació que hi ha en el recorregut del riu Llobregat és l'estació situada en Sant Joan Despí, pràcticament en la desembocadura del Llobregat.



Figura 3.23 Recull de dades de l'estació de control de Sant Joan Despí (Font: ref(39))

En aquest punt el cabal és inferior que en l'estació anterior, però com es pot veure en la figura 3.23, la fluctuació del cabal en aquest punt és més notòria que en les dues estacions de control anteriors. El cabal en aquest punt és de  $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$  i el nivell de 21 cm (39).

Per tant, fent la mitja dels tres cabals de les tres estacions de control estudiades podrem fer-nos una idea del cabal que transporta el riu Llobregat en aquesta època. El cabal mig que transporta el riu Llobregat, estudiat en tres estacions de control, del dia 21 de juny del 2016 és de  $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Podem observar que el cabal passa de  $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , en el tram entre l'estació de Castellbell i el Vilar i l'estació de Sant Joan Despí. Aquesta reducció de cabal és deguda a que la zona del mig de les dues estacions hi ha desviaments de cabal del Llobregat i consum d'aigua per a les ciutats i també per les indústries.

### 3.1.2 Cicle hidrològic de les conques de Catalunya

A continuació es mostra els principals fluxos d'aigua en el cicle hidrològic de les conques internes de Catalunya.

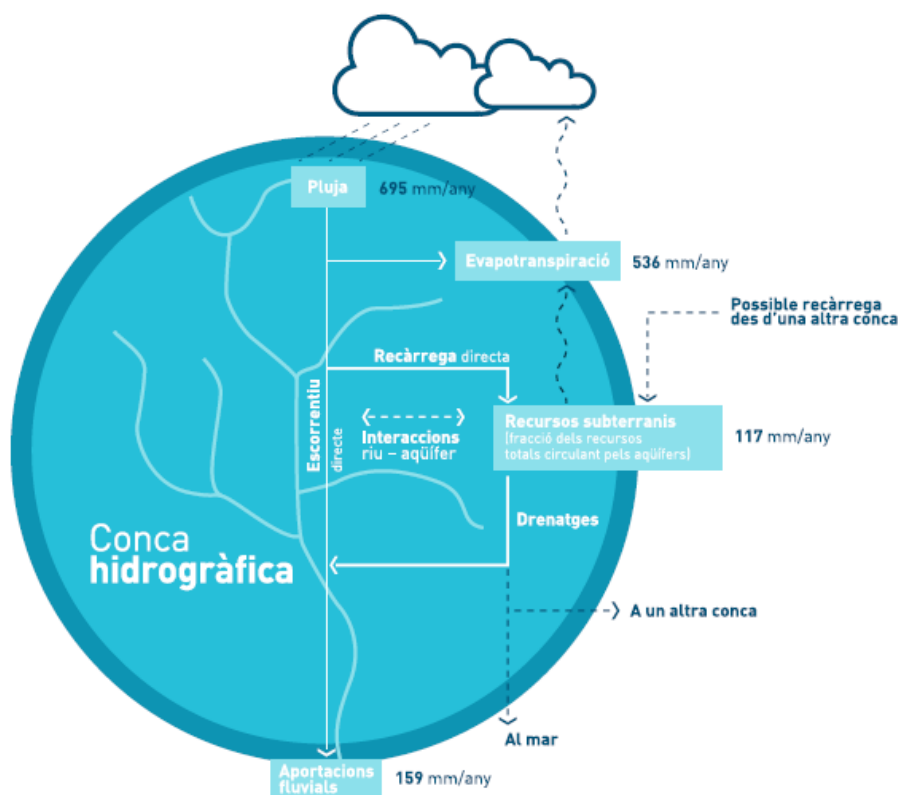


Figura 3.24 Cicle hidrològic de les conques de Catalunya (Font: ACA)

Les aportacions de la pluja al riu i l'evaporació de l'aigua que porta el riu són els principals causants de la quantitat d'aigua que transporta el riu. Per tant, el cabal del riu dependrà d'aquests dos paràmetres així com de l'ús que es fa de l'aigua al llarg del riu.

### 3.1.3 Pluviometria de les conques

A continuació podem observar la pluviometria de la conca del Llobregat, ja que com hem dit anteriorment és un paràmetre clau que dicta el cabal del riu.

El Llobregat té una precipitació mitjana anual de 675 mm o de 3.345 hm<sup>3</sup> anuals en el període de 1940-2008. La precipitació mitjana a Catalunya en el mateix període és de 695 mm anuals en una superfície de 15.304 km<sup>2</sup>. En general la precipitació disminueix de Nord a sud. A continuació mostrem un gràfic de precipitació mitjana anual a les conques:



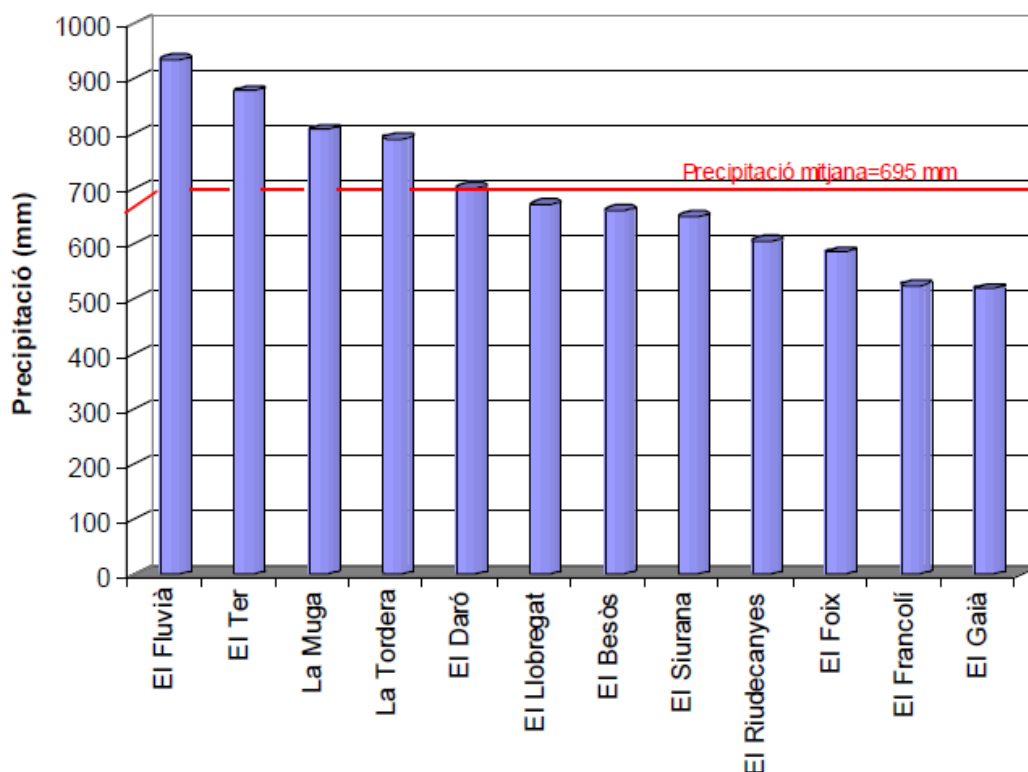


Figura 3.25 Pluviometria de les conques de Catalunya (Font: ACA)

En les conques del Fluvià i del Ter és on es produeixen les precipitacions més elevades. La conca del Llobregat assolix una precipitació similar a la precipitació mitjana de totes les conques. La conca que menys precipitacions té és la conca del Gaià.

Hem de tenir en compte que les pluviometria de les conques depèn de les situacions d'aquestes i de la variabilitat estacional, ja que les pluges es concentren en les estacions de primavera i tardor, per això treballem amb els valors mitjans de pluja.

A continuació es mostra un mapa on queden reflectides les dades de valors mitjos de precipitació de les diferents conques.

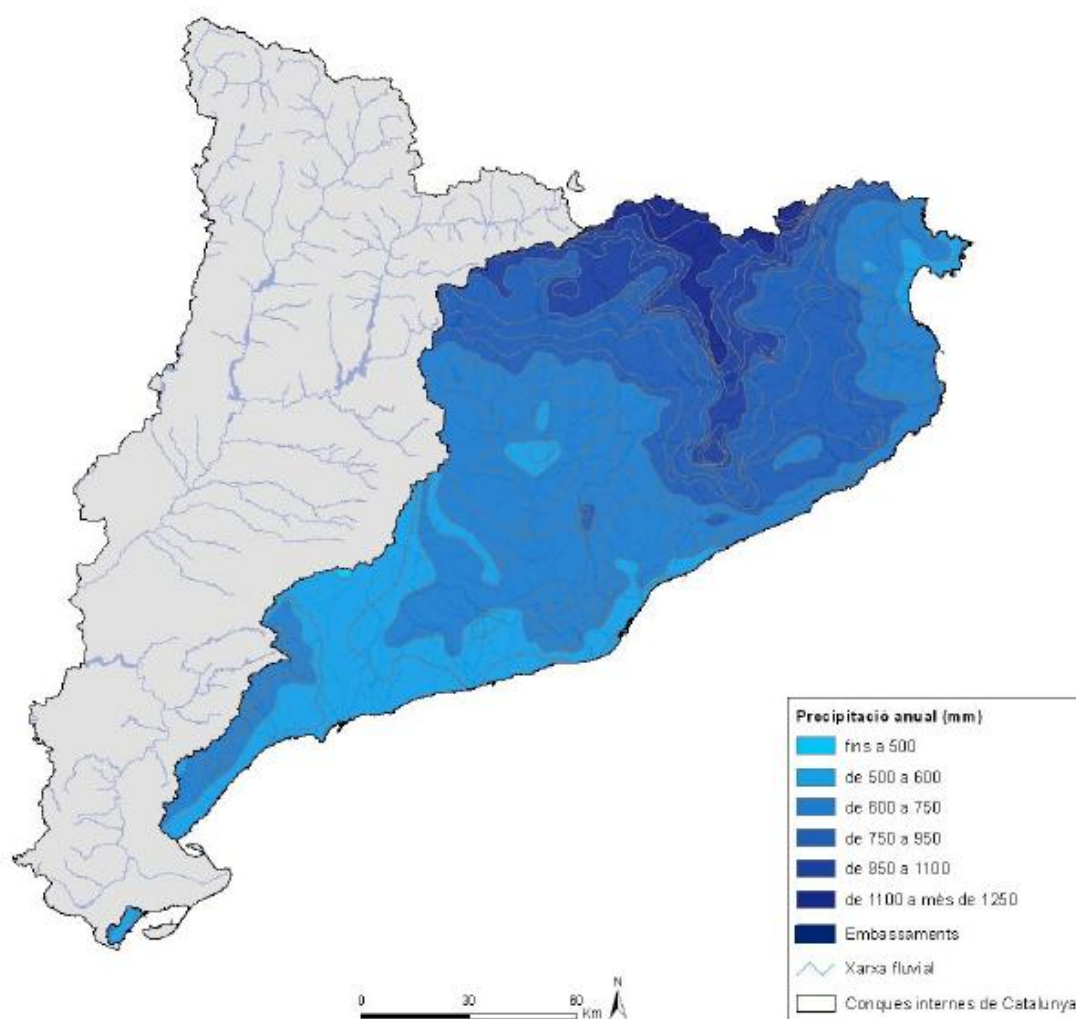


Figura 3.26 Precipitació de les conques (Font: ACA)

### 3.1.4 L'evapotranspiració de les conques

L'evapotranspiració de les conques és l'altre terme clau en el flux de l'aigua de les conques. El paper d'aquesta és pot observar en la figura 3.27. L'evapotranspiració depèn únicament de la temperatura, i aquesta depèn de l'estació en la qual estem i de la climatologia de la zona.

A continuació es mostra un gràfic on hi ha reflectits dos paràmetres: l'evapotranspiració potencial (ETP) i l'evapotranspiració real (ETR). L'evapotranspiració potencial és la màxima evapotranspiració que hi pot haver en la conca i l'evapotranspiració real és la obtinguda a partir de balanços amb la pluja i l'aigua disponible al sòl en cada instant.



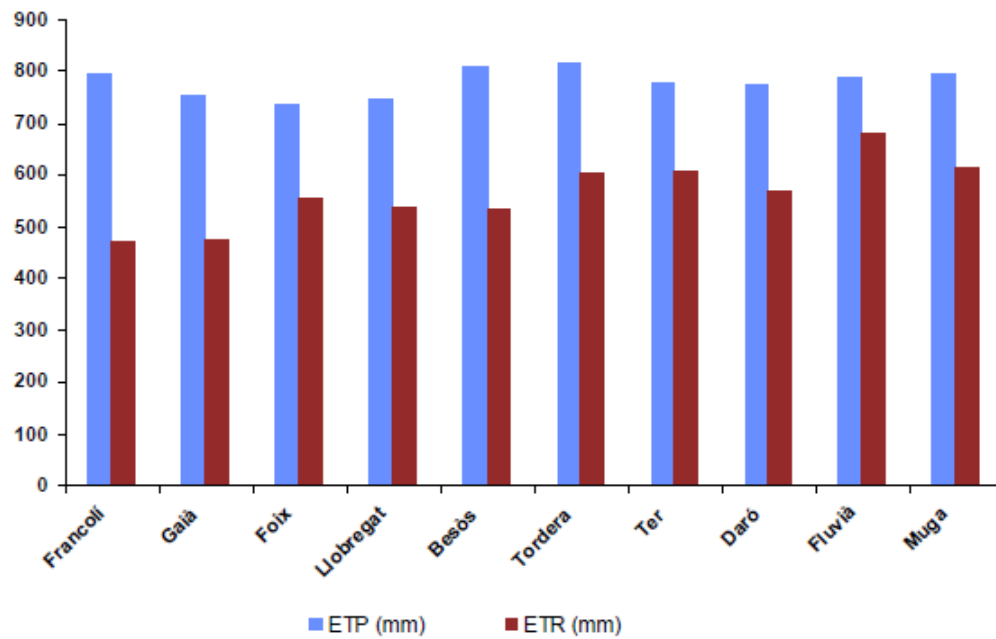


Figura 3.27 Evapotranspiració de les conques ( Font:ACA)

La conca del Llobregat es troba en un punt mitjà d'evapotranspiració. El salt entre els coeficients ETP i ETR ens fa pensar que en la conca del Llobregat no es donen les condicions més òptimes per que es produeixi el màxim d'evapotranspiració, comparant-les amb les altres conques on el coeficient de evapotranspiració real s'ajusta al potencial.

### 3.1.5 Consum d'aigua del Llobregat

Com hem comentat anteriorment, l'ús que es fa de l'aigua també és un paràmetre que dicta la quantitat d'aigua que hi ha al riu.

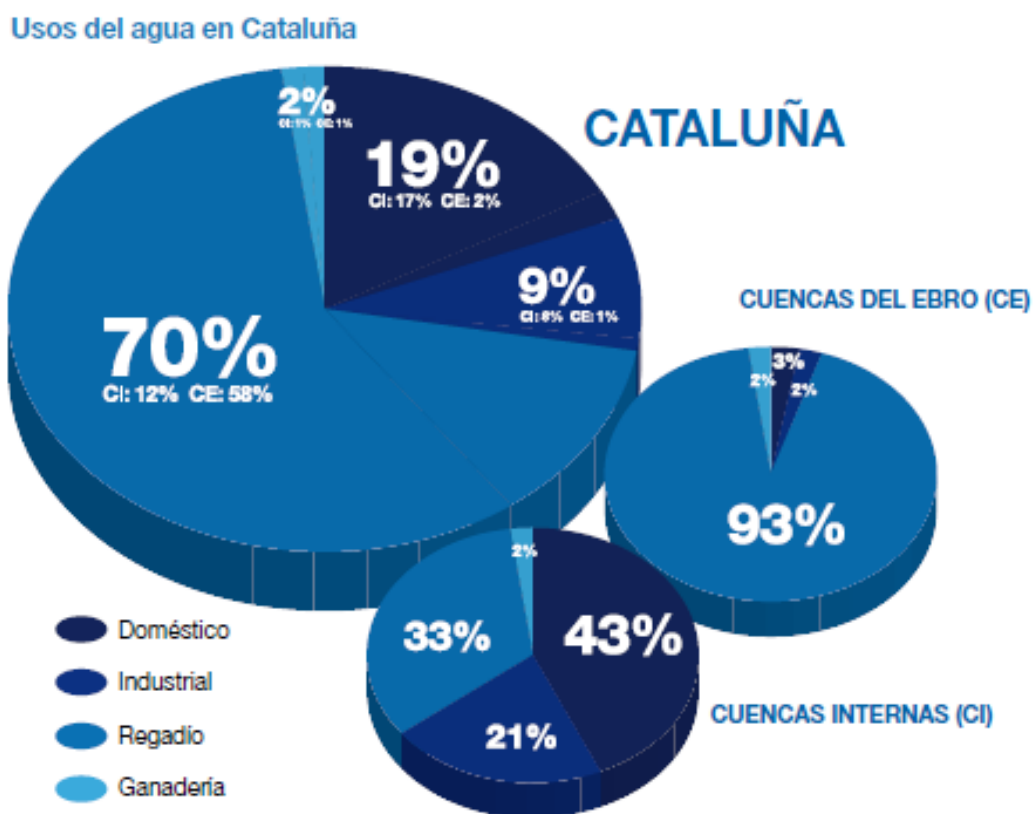


Figura 3.28 Usos de l'aigua a Catalunya (Font: ref (40))

Com podem veure en la figura anterior, la participació de les conques en el consum d'aigua és imprescindible. De les conques internes, on està inclosa la conca del Llobregat, un 21% d'aigua s'utilitza per abastir la demanda d'aigua industrial, un 33% per abastir regadiu, un 2% per abastir la demanda de la ramaderia i un 43% de l'aigua de les conques internes, el més elevat, abasteix el consum d'aigua domèstic. (40)

Per tant, l'aigua de les conques internes són les responsables majoritàriament d'abastir la demanda d'aigua per ús domèstic, mentre que, les conques del Ebre abasteixen substancialment la demanda d'aigua pel regadiu.

### 3.1.6 Aportació hídrica del Llobregat

La conca del Llobregat és la segona conca que més aportacions hídriques suposa dins de les conques internes a Catalunya en el període de 1940-2008, amb una aportació anual de 650 hm<sup>3</sup>. La conca que més aportacions hídriques suposa és la conca del Ter amb una aportació de 800 hm<sup>3</sup>/any, tal i com es mostra a la figura 3.29.

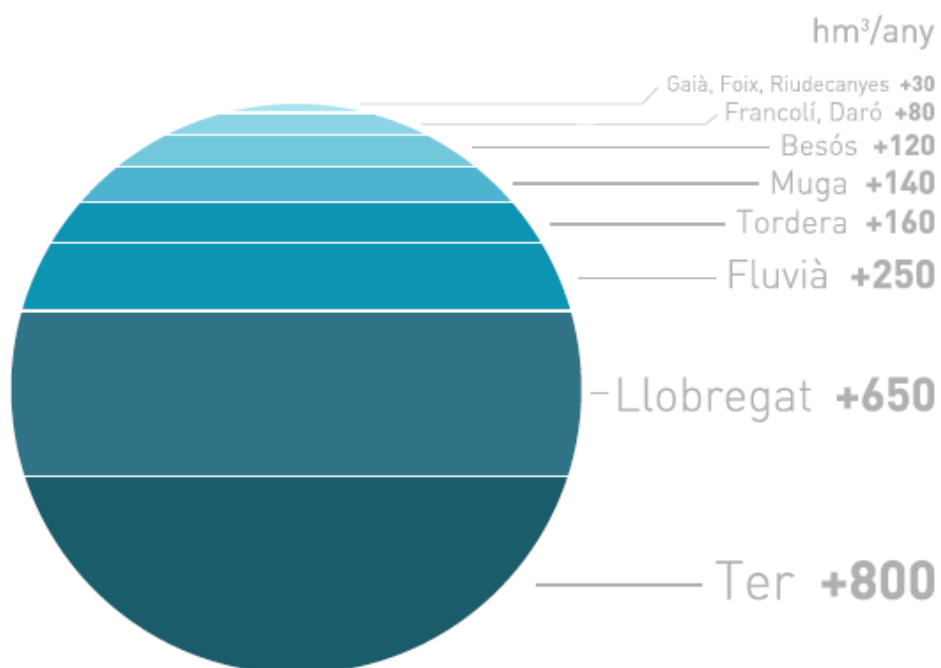


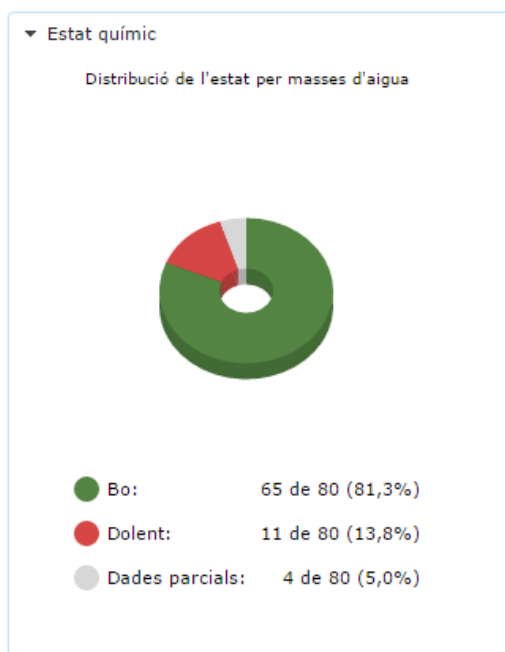
Figura 3.29 Aportació hídriques de les conques de Catalunya (Font: ACA)

L'aportació del riu Llobregat respecte els altres rius ens fa observar la importància d'aquesta conca. L'aportació de 650 hm<sup>3</sup>/any és l'aportació mitjana del riu Llobregat, ja que les aportacions de les conques no són regulars, l'aportació màxima del riu Llobregat ha sigut de 2.080 hm<sup>3</sup>/any i la mínima 156 hm<sup>3</sup>/any.

### 3.1.7 Paràmetres de la massa d'aigua de la Conca del Llobregat.

A continuació es mostren diferents paràmetres de la massa d'aigua del riu Llobregat. El concepte de massa d'aigua del Llobregat es basa en diferents trams del riu i rieres d'aquest on l'aigua és analitzada i les dades obtingudes es mostren a continuació:

#### ✓ Estat químic de la massa d'aigua del Llobregat.

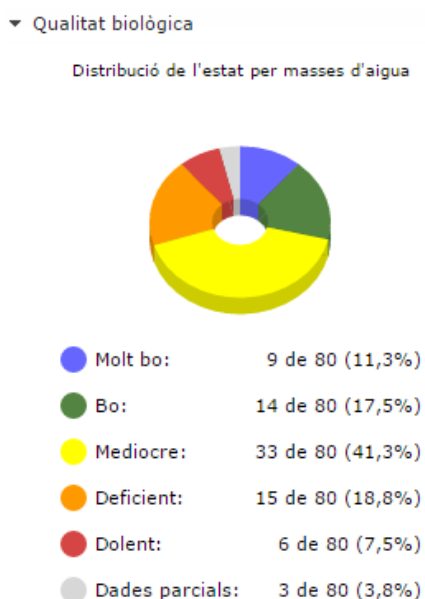


L'estat químic de les aigües analitzades de la conca del Llobregat és bo, ja que el 81% de les aigües analitzades tenen un bon estat químic. Tot i així hem de considerar que un 13,8 % de la massa d'aigua té un estat dolent.

Els compostos responsables de la major part d'incompliments d'un bon estat químic de l'aigua, pertanyen a les famílies dels disruptors endocrins situats principalment en zones industrials, i plaguicides situats en zones agrícoles. Aquests també es coneixen com a contaminants emergents.

Figura 3.30 Estat químic de l'aigua del riu Llobregat (Font:ACA)

#### ✓ Qualitat Biològica de la massa d'aigua del Llobregat.



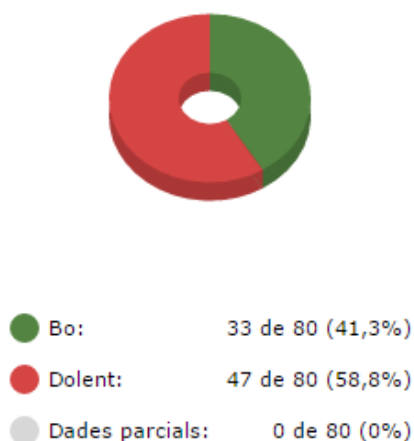
La qualitat biològica de l'aigua és acceptable en pràcticament un 29% de les aigües analitzades, en la resta és dolenta. Els trams baixos del Llobregat, del Besòs, de la Muga i del Foix són els que tenen més masses en un estat deficient o dolent. Aquestes masses es situen en indrets molt poblats, zones industrials o agrícoles.

Figura 3.31 Qualitat biològica de l'aigua del riu Llobregat (Font:ACA)

## ✓ Qualitat físico-química de la massa d'aigua del Llobregat.

## ▼ Qualitat físicoquímica

Distribució de l'estat per masses d'aigua

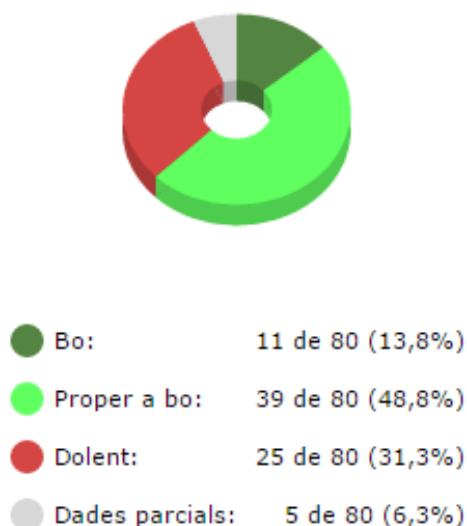


La majoria de l'aigua del riu Llobregat no té una bona qualitat físicoquímica, això es degut a que l'aigua té el recorregut a l'interior de nuclis urbans, industrials i agrícoles que suposen una aportació de productes que canvien els paràmetres de l'aigua, la impossibilitat de dissoldre'ls genera una qualitat de l'aigua dolenta en aquest aspecte.

Figura 3.32 Qualitat físicoquímica de l'aigua del riu Llobregat (Font:ACA)

## ✓ Estat general de la massa d'aigua del Llobregat.

Distribució de l'estat per masses d'aigua



L'estat general engloba tots els paràmetres contemplats anteriorment per tal de trobar una conclusió sobre l'estat de l'aigua analitzada en els rius i rieres de la conca del Llobregat.

L'estat general de l'aigua a la conca del Llobregat és bo o proper a bo en pràcticament un 63%, per tant, podem dir que es de bona qualitat en general tot i que hi ha un 30% de les aigües analitzades que tenen un estat dolent.

Figura 3.33 Estat general de l'aigua del riu Llobregat (Font:ACA)

Per saber com s'han aconseguit aquestes dades, veure **ANNEX B**

### 3.1.8 Les fàbriques del riu Llobregat (història)

El Llobregat ha sigut un motor d'exploració de l'energia hidràulica de Catalunya des de la industrialització. Tot i que en certs períodes de la història (1840-1900) la industrialització especialment en les conques del Llobregat i del Ter ha sigut fomentada per aspectes socials i econòmics. (41)

La carestia del carbó va ser un dels aspectes que més va fomentar a les indústries a refiar-se de l'energia hidràulica, el que va provocar una enorme concentració d'indústries tèxtils a la Catalunya central al voltant del 1870 (41). Aquestes indústries tenien instal·lades petites centrals hidroelèctriques (mini-hidroelèctriques) al seu interior, de manera que aprofitaven l'energia potencial del riu per generar electricitat per a la indústria.

El gran desplaçament de les indústries cap a les conques queda reflectit en les següents dades històriques: En l'any 1861 el Bages concentrava el 15,3% de les putes de filar de Catalunya i el 1932 el 24,2%. El Berguedà tenia el 0,31% al 1861 i 11,11% al 1932. Amb els telers va haver un desplaçament similar, al 1861 el Bages concentrava el 8,1% dels telers i al 1932 el 20,9%, i el Berguedà tenia el 1861 1,3% i el 1932, el 9,5%. (41)

La formació de colònies tèxtils a la conca del Llobregat també va ser forta en aquests anys per les mateixes raons que les indústries. Fet que va generar que, sobretot en la comarca del Berguedà, s'omplís fortament d'aquestes colònies.

Per tant, com hem pogut observar en les dades anteriors, la conca del Llobregat proporcionava energia elèctrica a una gran quantitat d'indústries.

Com a conseqüència de la depressió del comerç de la indústria tèxtil i cotonera a Catalunya, les indústries i les colònies que estaven instal·lades en el riu Llobregat van tancar-se (41), tot i això, les centrals mini-hidroelèctriques que tenien al seu interior, van ser conservades per tal de continuar amb la generació d'energia elèctrica fins avui en dia. Per tant, dites fàbriques i colònies són les causants de que avui en dia hi hagi una elevada quantitat de centrals de tipus mini-hidroelèctriques repartides en tota la conca del Llobregat.

A continuació es mostra un parell de mapes on queden reflectides totes les indústries i les colònies tèxtils que es van formar en aquesta època, que en la majoria coincideixen amb les centrals mini-hidroelèctriques que hi ha en l'actualitat.

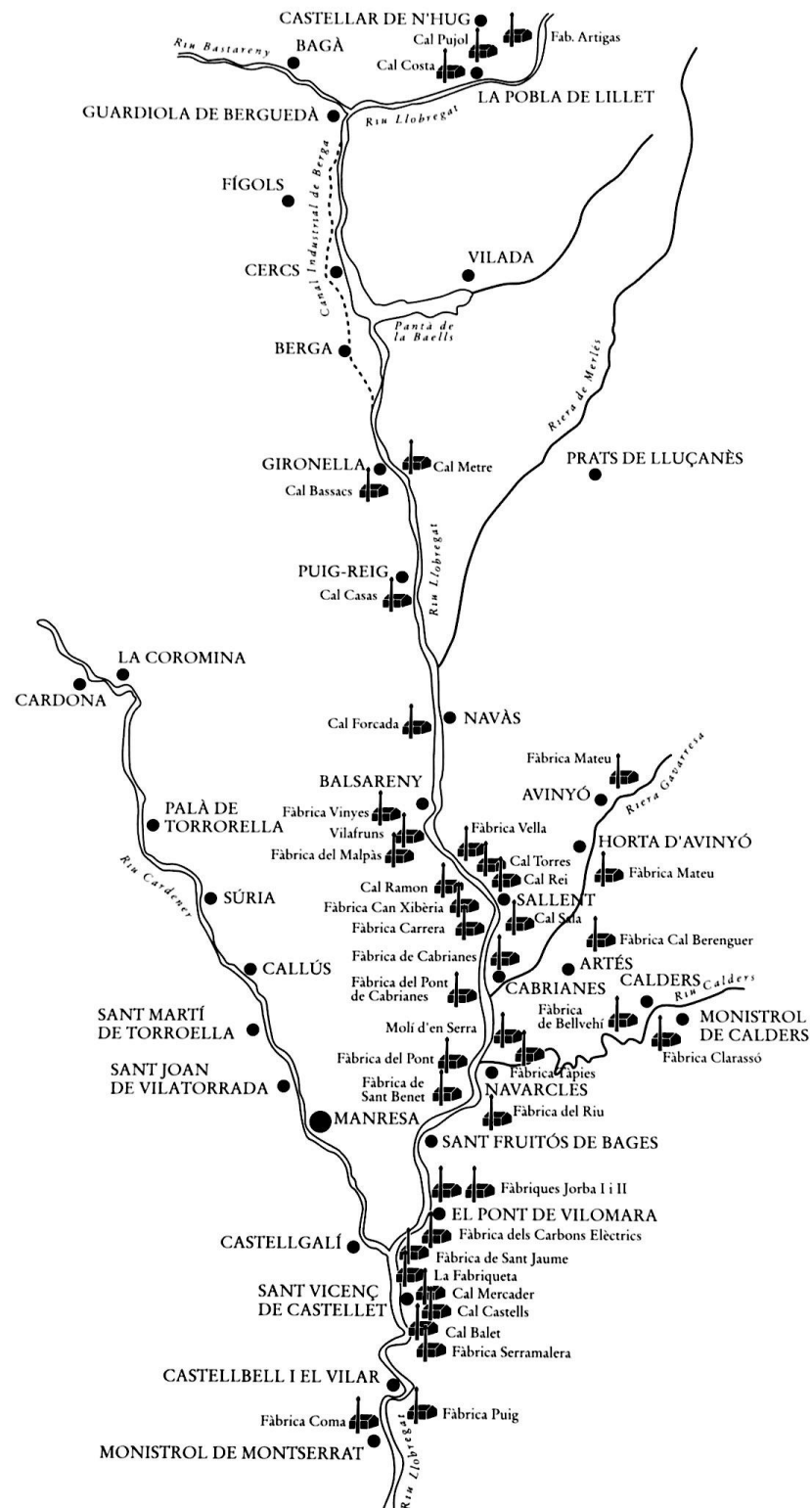


Figura 3.34 Fàbriques instal·lades en la conca del riu Llobregat ( Font: ref(41))



Figura 3.35 Colònies tèxtils instal·lades en la conca del Llobregat (Font: ref(41))



Fàbriques com Vilafrus, Can Xibèria, Cal Bassacs i Sant Benet (veure Figura 3.34) i colònies com la colònia Soldevila, colònia la Vidal, colònia la Prat, colònia Viladomiu i colònia Rosal (veure Figura 3.35) entre d'altres, són les que en l'apartat 3.2 les veurem com a centrals mini-hidroelèctriques i es podrà comprovar que aquestes indústries van passar a ser centrals mini-hidroelèctriques.

## 3.2 Aprofitament energètic del riu Llobregat

### 3.2.1 Centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat

A partir de la pàgina oficial de l'ACA aconseguim dades sobre les centrals hidroelèctriques del riu Llobregat. Els passos a seguir per cercar aquestes dades apareix en l'**ANNEX C**. Seguint aquests, aconseguim un excel amb les característiques d'un total de 54 centrals hidroelèctriques (veure **ANNEX D**), la totalitat de centrals no estan contemplades en el cas d'estudi, per tant, haurem de seleccionar les centrals que si entren en el cas d'estudi.

De les 54 centrals, 37 són les que estan dins del cas d'estudi, o sigui, hi ha 37 centrals hidroelèctriques entre Castellar de N'hug i Manresa. Un cop seleccionades aquestes 37, hem de separar aquelles que són centrals mini-hidroelèctriques això ho fem considerant que les centrals mini-hidroelèctriques són aquelles que tenen una potència instal·lada superior a 100 kW i inferior a 1000 kW, segons la classificació de les centrals hidràuliques tal i com s'ha vist a l'apartat 2.5.

Extraient les centrals que no entren en aquestes potències, ens queden un total de 28 centrals hidroelèctriques. D'aquestes 28, 15 centrals són del Berguedà i 13 centrals pertanyen del Bages.

Les dades de l'ICAEN de les 28 centrals, les comparem amb el llistat de centrals proporcionades per la central mini-hidroelèctrica de Can Bassach. Observem que l'ICAEN no ens proporciona el salt d'aigua i el cabal de les centrals i a més hi ha 6 centrals que tampoc apareixen. Decidim combinar les dades de les dues fonts, aconseguint un total de 34 centrals mini-hidroelèctriques.

Aquest total de centrals mini-hidroelèctriques, del tram Castellar de N'hug-Manresa, es mostren a continuació en les següents taules:

CENTRALS MINI-HIDROELÈCTRIQUES DEL RIU LLOBREGAT (BERGUEDÀ)						
ANY	MUNICIPI	INSTAL·LACIÓ	TITULAR	POTÈNCIA (kW)	SALT (m)	CABAL (m <sup>3</sup> /s)
2012	BERGA	CAN TURÓ	CAN TURO, SA	410	-	-
2012	BERGA	CH BERGA	HIDRODATA, SA	220	-	-
2012	BERGA	COLÒNIA CAL ROSAL	SALVADOR SERRA, SA	935	16	5
	CASSERRES	COLÒNIA MONEGAL	-	405	7	6
2012	CASSERRES	CH GUIXARÓ	DEMOTAIL S.L.	510	-	-
2012	CASSERRES	HIDROELÈCTRICA PEDRAFORCA	HIDROELECTRICA DEL PEDRAFORCA, SA	365	-	-
2012	GIRONELLA	CAN BASSACHS	APROFITAMENTS HIDRAULICS ENERGETICS, S.L.	300	9,2	4
2012	GIRONELLA	CAL METRE	INMOBILIARIA ORRIOLS	400	11	5,5
2012	GIRONELLA	CH COLÒNIA VILADOMIU	MONTPEL, SL	360	-	-
2012	GIRONELLA	CH VILADOMIU	INVESTICACION MAS DESARROLLO ENERGETICO SA IMADESA	380	-	-
2012	LA POBLA DE LILLET	COSTA ARTIGAS	AGUSTÍN BARRAL,S.A.	376	-	-
2012	PUIG-REIG	CAN RIERA	FILATS GONFAUS, SA	365		
2012	PUIG-REIG	COLÒNIA PRAT	CORPORACION INDUSTRIAL PREL SA	440	10,3	6,12
2012	PUIG-REIG	COLÒNIA VIDAL	IPSILON GREEN POWER, SA	666	-	-
2012	PUIG-REIG	PUIGREIG (SAIAC)	ENERGIA TD, SL	950	-	-
2012	PUIG-REIG	VILADOMIU-MARÇAL	INDUSTRIAL PUIG-REIG, SA	444	11	5,594
	PUIG-REIG	XAN RIERA PUIGREIG	-	575	6	8,1

\* Les dades de salt i cabal de les centrals són proporcionades per Francesc Selga. La resta de dades per l'ICAEN.



Centrals provinents del llistat proporcionat per Francesc Selga.

CENTRALS MINI-HIDROELÈCTRIQUES DEL RIU LLOBREGAT (BAGES)						
ANY	MUNICIPI	INSTAL·LACIÓ	TITULAR	POTÈNCIA (kW)	SALT (m)	CABAL (m³/s)
2012	BALSARENY	CH VILAFRUNS	SANTASUSANA DE INVERSIONES, SA	290	7,6	4,5
2012	BALSARENY	COLÒNIA SOLDEVILA	CAN TURO, SA	360	5,5	5,2
2012	BALSARENY	HILATURAS BALSARENY	INMOBAL, SA	340	5,37	6,5
2012	BALSARENY	LA RABEYA	CREACIONES TEXTILES BILBILIS SA	320	5,68	5,44
	NAVARCLES	CH EL RIU		180	3,34	5,5
2012	NAVARCLES	CAN GALOBART	GUIART Y SALVADO, SA	480	6	9
2012	NAVAS	PRESA FORCADA	POLIG INDUSTRIAL CAN SEDO, SA	261	4	7
2012	SALLENT	CH NOVA XIBÈRIA	EXPLOTACIONES ENERGETICAS DEL BAGES, SCCL	562	-	-
2012	SALLENT	FÀBR. BERENGUER	FILATS M.J.S., SA	190	-	-
2012	SALLENT	JOSE PURTÍ TEIXIDOR	TÈXTIL MOISA,S.A.	140	-	-
2012	SALLENT	LA CORBATERA	SALVADOR SERRA, SA	393	-	-
	SALLENT	SERRASSANS		132	2,6	6,9
	SALLENT	EL MAL PAS		375	4,7	4,47
	SALLENT-CABRIANES	FILATS MJS		385	8,55	5,12
2012	SALLENT	PONT DE CABRIANES	DICRE, SA	140	5,1	2,4
2012	SANT FRUITOS DE BAGES	CH EL PONT VELL	POLIG INDUSTRIAL CAN SEDO, SA	180	4,57	3,5
2012	SANT FRUITOS DE BAGES	SANT BENET	CONHIDRO, SA	400	8,3	6

\* Les dades de salt i cabal de les centrals són proporcionades per Francesc Selga. La resta de dades per l'ICAEN.



Centrals provinents del llistat proporcionat per Francesc Selga.

Les 6 centrals que provenen del llistat de Francesc Selga, no disposen de la dada del titular i algunes de les centrals provinents del llistat de l'ICAEN no disposen de les dades del salt i del cabal.

Observant les dades de salt d'aquelles centrals del cas d'estudi que tenim dades, veiem que per les mini-hidroelèctriques del Berguedà el salt màxim és de 16 metres que és més elevat que el valor màxim de salt de les centrals del Bages, que és 8,55 metres. Això ens fa pensar que les mini-hidroelèctriques del Berguedà tenen més salt d'aigua, i consegüentment aquestes centrals poden aprofitar més l'energia potencial de l'aigua.

En canvi, si observem els cabals, els valors per les centrals del Bages aquests van des de 2,4 fins a 9 m<sup>3</sup>/s. En canvi per les centrals del Berguedà són des de 4 fins a 8,10 m<sup>3</sup>/s. Si comparem el valor mig del cabal del Bages, que és 5,50 m<sup>3</sup>/s i el valor mig de cabal del Berguedà, que és 5,76 m<sup>3</sup>/s, podem veure que aquests són comparables.

Però, si comparem el valor mig del salt de les centrals del Berguedà, aquest és 10,07 metres, que és força superior al valor mig de salt de les centrals del Bages, que és 5,49 metres. Per tant, comparant aquests dos valors, podem veure que les centrals del Berguedà poden aprofitar més quantitat d'energia potencial, el que hauria de suposar la generació de més energia elèctrica.

### 3.2.2 Producció d'energia de les centrals mini-hidroelèctriques

Com podem observar a la taula 3.1 i 3.2, disposem de la potència instal·lada i no de l'energia generada de les centrals hidroelèctriques. A partir de la potència podem calcular l'energia mitjançant la següent fórmula:

$$E = P \cdot t \quad (1)$$

On E és l'energia en *kWh*

On P és la potència en *kW*

On t és el temps en *h*

Si multipliquem la potència instal·lada pel temps en el qual la central està en funcionament durant un dia, o sigui 24h, obtindrem l'energia produïda durant un dia. Però hem de tenir en compte que, aquestes centrals no produeixen la mateixa energia durant tot el dia, ja que no treballen al seu màxim de capacitat en tot moment.

La realitat és que les centrals difícilment treballen al màxim de la seva potència, tot i que ho faran sempre i quan el cabal els hi permeti fer-ho, per tant, per trobar un valor d'energia més real, hauríem de saber el % de capacitat en el que solen treballar les centrals mini-hidroelèctriques.

L'energia generada per les centrals hidroelèctriques i mini-hidroelèctriques, depèn dels pantans i de la pluviometria de la zona, aquests dos factors afecten directament sobre el cabal del riu, i depenent d'aquest, les centrals hidroelèctriques poden produir més o menys energia.

El factor de planta és una indicació de la utilització de la capacitat de la planta en el temps. Aquest factor de planta mai arriba a ser màxim, per tant mai és el 100%, ja que la capacitat de la planta depèn de la demanda, les pèrdues d'energia per l'equipament elèctric, del manteniment de la planta, i la irregularitat de la font d'energia.

La irregularitat de la font d'energia no afecta a les centrals hidroelèctriques però sí a les mini-hidroelèctriques, ja que com solen ser centrals d'aigua fluent, depenen del cabal d'aigua del riu, que és irregular, conseqüentment la generació d'energia és irregular.

Per saber la capacitat de les mini-hidroelèctriques de la conca del Llobregat hem cercat l'estudi *Aprofitament de salts fluvials per a l'obtenció d'energia elèctrica a Catalunya* (32). Aquest estudia l'energia produïda per les centrals hidroelèctriques i mini-hidroelèctriques en conques de Catalunya. Del riu Llobregat menciona que té un total de potència instal·lada de 19.716 kW i que a partir de les centrals instal·lades en tot el riu Llobregat s'ha generat un total d'energia de 79.739.000 kWh/any (32). Aquestes dades són molt útils per saber la capacitat de les centrals, tot i que aquest estudi contempla les centrals de tot el riu Llobregat, aplicarem la capacitat trobada en les centrals del cas d'estudi, ja que aquestes segueixen la mateixa dinàmica.

Per trobar un valor de capacitat, calculem l'energia màxima generada a partir de la potència del riu Llobregat, aplicant la fórmula (1).

$$E = 19.716 \text{ kW} \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{dia}} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{\text{any}} = 172.712.160 \text{ kWh/any}$$

Aquest valor és el màxim d'energia produïda si les centrals del riu Llobregat treballessin al màxim de la seva capacitat. Ara, com tenim l'energia real produïda, calcularem realment a quin % de capacitat les centrals estan treballant.

$$\text{Capacitat} = \frac{\text{Energia real generada}}{\text{Energia màxima generada}} \cdot 100 = \frac{79.739.000 \text{ kWh/any}}{172.712.160 \text{ kWh/any}} \cdot 100 = 46,2\%$$

$$\text{Capacitat} = 46,2\%$$

Per tant, la capacitat de les centrals mini-hidroelèctriques és del 46,2% (42). Tot i que aquest estudi hagi contemplat la totalitat de centrals hidroelèctriques del riu Llobregat, hem de considerar que les centrals mini-hidroelèctriques del nostre estudi segueixen la mateixa dinàmica.

Aquest estudi data l'any 1983, però les centrals hidroelèctriques que hi ha instal·lades a la conca del Llobregat avui en dia són les mateixes que les que hi havia en aquell moment, i la tecnologia és la mateixa. Per tant, utilitzarem les dades obtingudes a partir d'aquest estudi per a realitzar els càlculs d'energia generada a partir de la potència instal·lada de les centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat des de Castellar de N'hug fins a Manresa.

A continuació es mostren dues taules on queda reflectit, de cada ETAP, l'energia màxima generada calculada i l'energia estimada. L'energia màxima generada es calcula a partir de la fórmula (1), en canvi, l'energia màxima generada es calcula a partir d'un 46,2% de la potència instal·lada.

**Taula 3.3 Energia màxima i estimada produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat (Berguedà).**  
( Font: Pròpia)

<b>ENERGIA MÀXIMA I ESTIMADA PRODUÏDA PER LES CENTRALS MINI-HIDROELÈCTRIQUES DEL RIU LLOBREGAT (BERGUEDÀ)</b>				
<b>MUNICIPI</b>	<b>INSTAL·LACIÓ</b>	<b>POTÈNCIA (kW)</b>	<b>ENERGIA MÀXIMA (kWh/dia)</b>	<b>ENERGIA ESTIMADA (kWh/dia)</b>
<b>BERGA</b>	<b>CAN TURÓ</b>	<b>410</b>	<b>9.840</b>	<b>4.546</b>
<b>BERGA</b>	<b>CH BERGA</b>	<b>220</b>	<b>5.280</b>	<b>2.439</b>
<b>BERGA</b>	<b>COLÒNIA CAL ROSAL</b>	<b>935</b>	<b>22.440</b>	<b>10.367</b>
<b>CASSERRES</b>	<b>COLÒNIA MONEGAL</b>	<b>405</b>	<b>9.720</b>	<b>4.491</b>
<b>CASSERRES</b>	<b>CH GUIXARÓ</b>	<b>510</b>	<b>12.240</b>	<b>5.655</b>
<b>CASSERRES</b>	<b>HIDROELÈCTRICA PEDRAFORCA</b>	<b>365</b>	<b>8.760</b>	<b>4.047</b>
<b>GIRONELLA</b>	<b>BASSACS</b>	<b>300</b>	<b>7.200</b>	<b>3.326</b>
<b>GIRONELLA</b>	<b>CAL METRE</b>	<b>400</b>	<b>9.600</b>	<b>4.435</b>
<b>GIRONELLA</b>	<b>CH COLÒNIA VILADOMIU (Vell)</b>	<b>360</b>	<b>8.640</b>	<b>3.992</b>
<b>GIRONELLA</b>	<b>CH VILADOMIU (Nou)</b>	<b>380</b>	<b>9.120</b>	<b>4.213</b>
<b>LA POBLA DE LILLET</b>	<b>COSTA ARTIGAS</b>	<b>376</b>	<b>9.024</b>	<b>4.169</b>
<b>PUIG-REIG</b>	<b>CAN RIERA</b>	<b>365</b>	<b>8.760</b>	<b>4.047</b>
<b>PUIG-REIG</b>	<b>COLÒNIA PRAT</b>	<b>440</b>	<b>10.560</b>	<b>4.879</b>
<b>PUIG-REIG</b>	<b>COLÒNIA VIDAL</b>	<b>666</b>	<b>15.984</b>	<b>7.385</b>
<b>PUIG-REIG</b>	<b>PUIGREIG (SAIAC)</b>	<b>950</b>	<b>22.800</b>	<b>10.534</b>
<b>PUIG-REIG</b>	<b>VILADOMIU-MARÇAL</b>	<b>444</b>	<b>10.656</b>	<b>4.923</b>
<b>PUIG-REIG</b>	<b>XAN RIERA PUIGREIG</b>	<b>575</b>	<b>13.800</b>	<b>6.376</b>
$\sum \text{Energia estimada generada} = 89.824 \frac{kWh}{dia}$ $\sum \text{Energia màxima generada} = 194.424 \frac{kWh}{dia}$				

Tal i com podem veure a la taula 3.3, l'energia màxima generada per les 17 mini-hidroelèctriques del Berguedà és 194.424 kWh diaris. En canvi, el total d'energia estimada generada, és 89.824 kWh/dia una quantitat d'energia força significativa, i bastant superior a l'energia produïda per les centrals hidràuliques del Bages, que es mostren a la taula següent, taula 3.4.

**Taula 3.4 Energia màxima i estimada produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del riu Llobregat (Bages).**  
(Font: Pròpia)

<b>ENERGIA MÀXIMA I ESTIMADA PRODUÏDA PER LES CENTRALS MINI-HIDROELÈCTRIQUES DEL RIU LLOBREGAT (BAGES)</b>				
<b>MUNICIPI</b>	<b>INSTAL·LACIÓ</b>	<b>POTÈNCIA (kW)</b>	<b>ENERGIA MÀXIMA (kWh/dia)</b>	<b>ENERGIA ESTIMADA (kWh/dia)</b>
<b>BALSARENY</b>	CH VILAFRUNS	<b>290</b>	<b>6.960</b>	<b>3.216</b>
<b>BALSARENY</b>	COLÒNIA SOLDEVILA	<b>360</b>	<b>8.640</b>	<b>3.992</b>
<b>BALSARENY</b>	HILATURAS BALSARENY	<b>340</b>	<b>8.160</b>	<b>3.770</b>
<b>BALSARENY</b>	LA RABEYA	<b>320</b>	<b>7.680</b>	<b>3.548</b>
<b>NAVARCLES</b>	CH EL RIU	<b>180</b>	<b>4.320</b>	<b>1.996</b>
<b>NAVARCLES</b>	CAN GALOBART	<b>480</b>	<b>11.520</b>	<b>5.322</b>
<b>NAVAS</b>	PRESA FORCADA	<b>261</b>	<b>6.264</b>	<b>2.894</b>
<b>SALLENT</b>	CH NOVA XIBÈRIA	<b>562</b>	<b>13.488</b>	<b>6.231</b>
<b>SALLENT</b>	FÀBR. BERENGUER	<b>190</b>	<b>4.560</b>	<b>2.107</b>
<b>SALLENT</b>	JOSE PURTÍ TEIXIDOR	<b>140</b>	<b>3.360</b>	<b>1.552</b>
<b>SALLENT</b>	LA CORBATERA	<b>393</b>	<b>9.432</b>	<b>4.358</b>
<b>SALLENT</b>	SERRASSANS	<b>132</b>	<b>3.168</b>	<b>1.464</b>
<b>SALLENT</b>	EL MAL PAS	<b>375</b>	<b>9.000</b>	<b>4.158</b>
<b>SALLENT-CABRIANES</b>	FILATS MJS	<b>385</b>	<b>9.240</b>	<b>4.269</b>
<b>SALLENT</b>	PONT DE CABRIANES	<b>140</b>	<b>3.360</b>	<b>1.552</b>
<b>SANT FRUITOS DE BAGES</b>	CH EL PONT VELL	<b>180</b>	<b>4.320</b>	<b>1.996</b>
<b>SANT FRUITOS DE BAGES</b>	SANT BENET	<b>400</b>	<b>9.600</b>	<b>4.435</b>
$\sum \text{Energia estimada generada} = 56.859 \frac{kWh}{dia}$ $\sum \text{Energia màxima generada} = 123.072 \frac{kWh}{dia}$				

En la taula 3.4, s'observa que l'energia màxima que les centrals mini-hidroelèctriques del Bages poden produir és 123.072 kWh/dia, una xifra força elevada, tot i que, inferior a l'energia màxima de les centrals del Berguedà. I l'energia estimada generada ascendeix a 56.859 kWh/dia.

Comparant la taula 3.3 i 3.4 podem confirmar que les mini-hidroelèctriques del Berguedà produeixen més energia, tal i com havíem previst anteriorment.



Considerem que els valors estimats d'energia produïda de les centrals del cas d'estudi s'apropen més als valors reals d'energia generada. No obstant, hem de tenir en compte que en aquesta estimació hi ha un cert error del qual desconexim la seva magnitud, ja que segurament, no totes les centrals treballen a la mateixa capacitat, però la impossibilitat de trobar la capacitat de cadascuna de les centrals ens ha donat l'única opció d'aplicar un únic de capacitat per a totes les centrals.

Comparant la taules 3.3 i 3.4 podem confirmar que les mini-hidroelèctriques del Berguedà produeixen més energia, tal i com havíem previst anteriorment.

A continuació fem el sumatori d'energia màxima i energia estimada de les centrals del cas estudi poden arribar a generar.

**Taula 3.5 Sumatori de l'energia màxima i estimada generada per les centrals mini-hidroelèctriques del cas d'estudi (Font: Pròpia)**

SUMATORI DE L'ENERGIA MÀXIMA I ESTIMADA GENERADA PER LES CENTRALS MINI-HIDROELÈCTRIQUES DEL CAS D'ESTUDI	
$\sum$ <i>Energia generada màxima</i> (kWh/dia)	$\sum$ <i>Energia estimada generada</i> (kWh/dia)
317.496	<b>146.683</b>

L'energia màxima que les centrals podrien arribar a generar si treballessin al màxim de la seva capacitat és 317.496 kWh/dia, una quantitat d'energia molt elevada, però sabem que aquest valor dista del valor real d'energia generada.

Per tant, considerem que el total d'energia produïda per les centrals del cas d'estudi, 17 centrals del Berguedà i 17 centrals del Bages, 34 centrals en total, és de 146.683 kWh/dia.

A continuació representem les dades de les taules 3.3. i 3. 4:

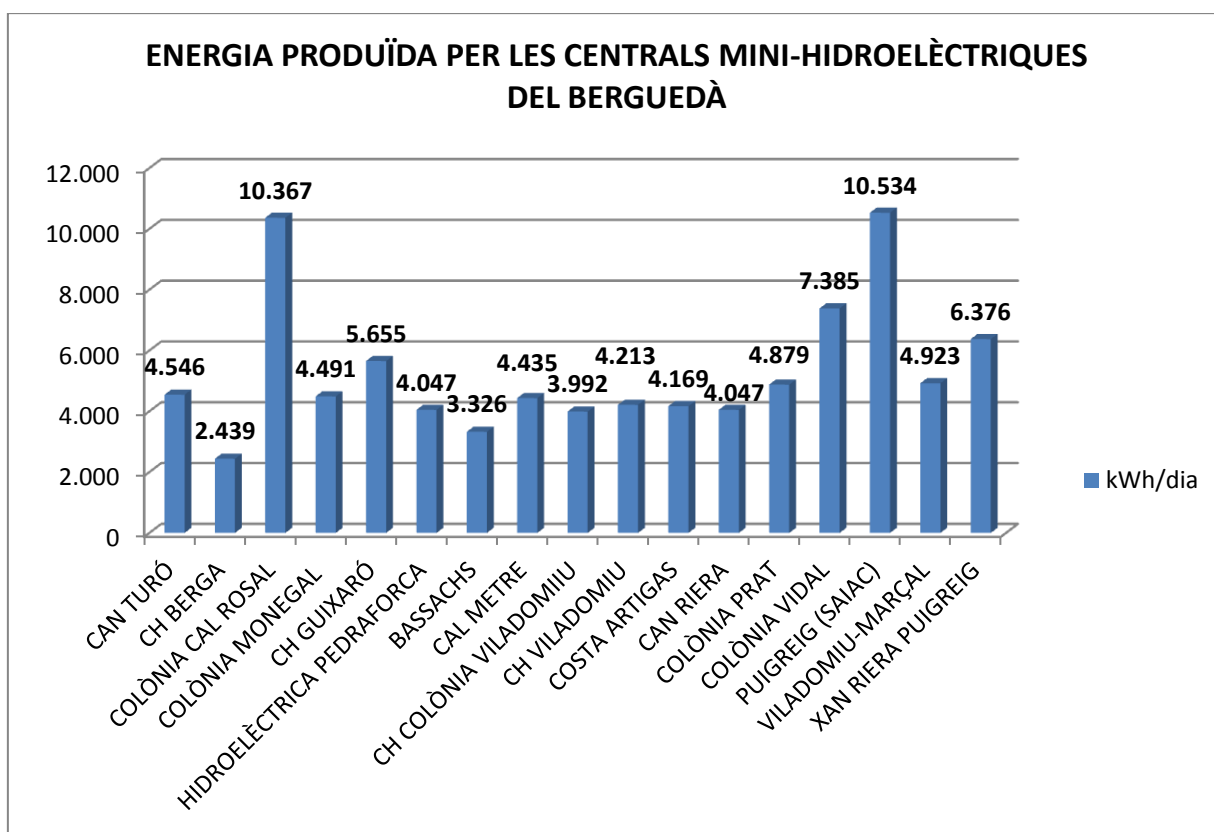


Figura 3.36 Energia produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del Berguedà (Font: Pròpia)

Des les mini-hidroelèctriques del Berguedà la que més energia genera és la central PUIGREIG (SAIAC), situada a Puig Reig, amb una generació estimada de 10.534 kWh diaris, molt lluny de la central que en produeix menys, aquesta és la Central Hidràulica BERGA, situada a Berga, amb una generació d'energia elèctrica estimada de 2.439 kWh diaris.

La segona central hidràulica que més energia genera és la central COLÒNIA CAL ROSAL, aquesta té un valor d'energia estimada molt similar a la central de PUIGREIG, de 10.367 kWh diaris.

Observem que hi ha moltes centrals, sense tenir en compte les 2 centrals que produeixen més i la que produeix menys, que generen energia al voltant 2.400 i 7.300 kWh diaris.

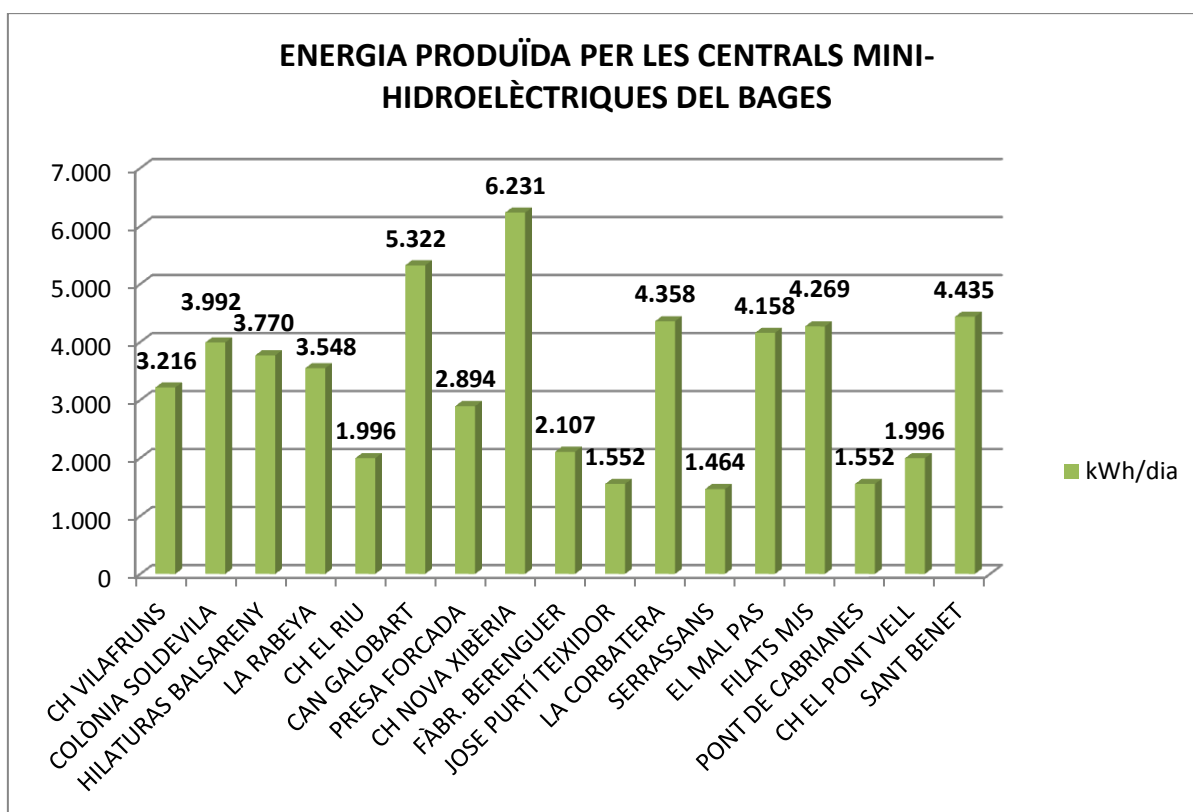


Figura 3.37 Energia produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del Bages (Font: Pròpia)

L'energia produïda per les centrals mini-hidroelèctriques del Bages és d'una magnitud inferior que la produïda per les mini-hidroelèctriques del Berguedà, fet que es pot observar comparant les figures 3.37 i 3.36.

En el cas de la comarca del Bages, la central que més energia genera és la central CH NOVA XIBÈRIA, que produeix energia de l'ordre de 6.231 kWh/dia. Comparant les centrals que més energia genera del Bages amb la del Berguedà, podem veure que la central que més energia genera del Berguedà produeix 4.303 kWh/dia més que la central que més genera del Bages, un valor d'energia bastant considerable.

La central que menys energia genera és la central de SERRASSANS situada a Sallent, amb un valor d'energia estimada generada de 1.464 kWh/dia. Que és un 60% inferior que l'energia produïda per la central que menys energia genera del Berguedà.

Per tant, amb diverses comparacions entre les dues comarques podem afirmar que les centrals del Berguedà generen energia d'una magnitud superior que les del Bages.

### 3.2.3 Utilització de l'aigua per les centrals mini-hidroelèctriques

Per tal de saber la quantitat d'aigua que es necessita per a produir l'energia que generen les centrals mini-hidroelèctriques del cas d'estudi farem dos gràfics on quedarà reflectit el cabal i l'energia produïda per cada centrals que tinguem les dades, de les dues comarques.

Tenim el cabal d'algunes de les centrals del cas d'estudi, primerament calcularem el cabal d'aigua diari, que queda reflectit en la taula següent:

Hem de remarcar que les dades que apareixen en aquest apartat (3.2.3) únicament es contemplen les mini-hidroelèctriques les quals tenim dades del seu cabal, aquestes són 20 del total de 34 que entren en el cas d'estudi.

**Taula 3.6 Energia i Cabal diari de les centrals mini-hidroelèctriques del cas d'estudi (Font: Pròpia)**

ENERGIA I CABAL DIARI DE LES CENTRALS MINI-HIDROELÈCTRIQUES DEL CAS D'ESTUDI				
COMARCA	INSTAL·LACIÓ	ENERGIA ESTIMADA (kWh/dia)	CABAL (m³/dia)	RATIO (kWh/m³)
BAGES	CH VILAFRUNS	3.216	388.800	0,008
	COLÒNIA SOLDEVILA	3.992	449.280	0,009
	HILATURAS BALSARENY	3.770	561.600	0,007
	LA RABEYA	3.548	470.016	0,008
	CH EL RIU	1.996	475.200	0,004
	CAN GALOBART	5.322	777.600	0,007
	PRESA FORCADA	2.894	604.800	0,005
	SERRASSANS	1.464	596.160	0,002
	EL MAL PAS	4.158	386.208	0,011
	FILATS MJS	4.269	442.368	0,010
	PONT DE CABRIANES	1.552	207.360	0,007
	CH EL PONT VELL	1.996	302.400	0,007
	SANT BENET	4.435	518.400	0,009
BERGUEDA	COLÒNIA CAL ROSAL	10.367	432.000	0,024
	COLÒNIA MONEGAL	4.491	518.400	0,009
	BASSACHS	3.326	345.600	0,010
	CAL METRE	4.435	475.200	0,009
	COLÒNIA PRAT	4.879	528.768	0,009
	VILADOMIU-MARÇAL	4.923	483.322	0,010
	XAN RIERA PUIGREIG	6.376	699.840	0,009
$\sum \text{Energia estimada} = 81.408 \text{ kWh/dia}$ $\sum \text{Cabal d'aigua} = 9.663.322 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$ $\text{Ratio Promig} = 0,009 \text{ kWh/m}^3$				

Hem de considerar que el cabal de les mini-hidroelèctriques no és constant, ja que depenen del cabal d'aigua del riu en cada moment. Tot i això hem agafat un únic valor de cabal ja que no tenim el valor de cabal real en cada moment.

Tal i com es pot veure a la taula 3.6, hem calculat el ratio de les mini-hidroelèctriques. Per a les centrals les quals coneixem el cabal i la producció d'energia podem treure una ratio entre l'aigua utilitzada respecte l'energia generada. Tot i que, hem de ser conscients que l'aigua que utilitzen aquestes centrals és retornada, pràcticament en la seva totalitat, al riu. Com podem observar a la taula 3.6, l'ordre dels coeficients del ratio són molt petits, això vol dir que per generar poca energia és necessita una quantitat considerable d'aigua.

El ratio mitjà és de l'ordre de  $0,009 \text{ kWh/m}^3$ . Això vol dir que la mitja d'utilització d'aigua de les 20 centrals mini-hidroelèctriques del cas d'estudi que tenim dades del seu cabal, és de  $1 \text{ m}^3$  per la generació de  $0,009 \text{ kWh}$ . Per tant, l'ordre dels valors de l'energia produïda i de l'aigua necessària per produir-la és força diferent.

La quantitat d'aigua necessària per a generar energia elèctrica és elevada en les centrals hidroelèctriques estudiades, ja que per generar un total de  $81.408 \text{ kWh/dia}$  es requereix un total de  $9.663.322 \text{ m}^3$  diaris.

A continuació es mostren en dues figures les dades de cabal d'aigua utilitzada i energia elèctrica generada de les centrals que apareixen en la taula 3.6.

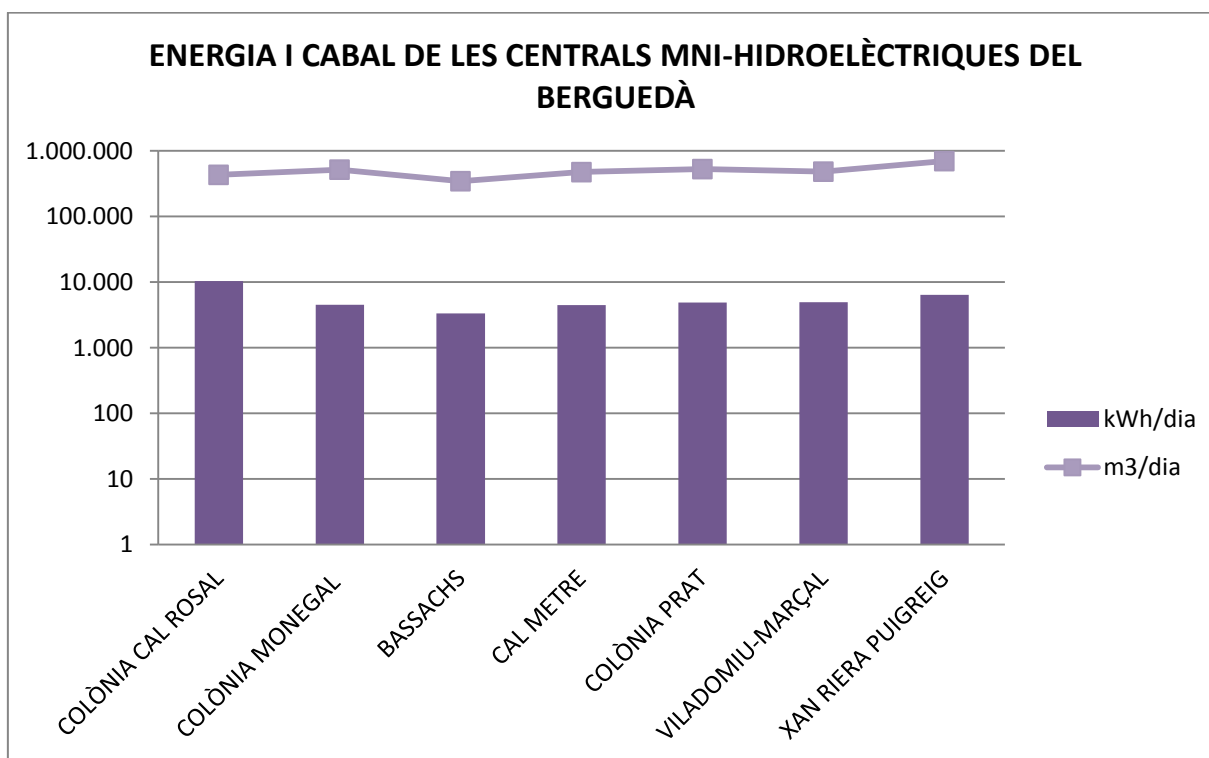


Figura 3.38 Energia i cabal de les centrals mini-hidroelèctriques del Berguedà. (Font: Pròpia)

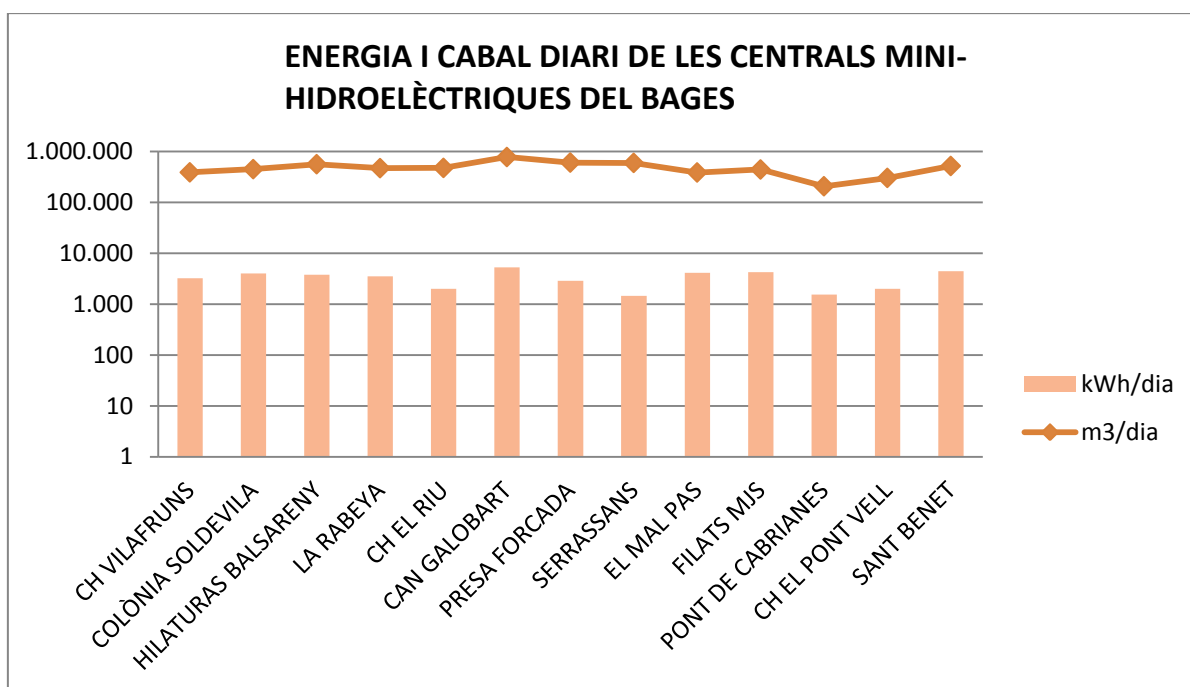


Figura 3.39 Energia i cabal diari de les centrals mini-hidroelèctriques del Bages (Font: Pròpia)

En ambdues figures hem hagut d'utilitzar l'escala logarítmica, ja que la magnitud de l'energia era molt inferior de la del cabal, i si no utilitzàvem aquesta escala les columnes que representen l'energia generada pràcticament no apareixien en la figura 3.39.

El total de cabal d'aigua utilitzat per les 19 centrals mini-hidroelèctriques, les quals tenim dades, és de 9.663.322 m<sup>3</sup>/dia. Es necessita aquesta gran quantitat d'aigua per a produir un total de 81.408 kWh/dia.

Tot i que, tal i com podem observar en les figures, es necessita molta quantitat d'aigua per a la generació d'energia hem de tenir en compte que aquesta aigua és retornada quasi en la seva totalitat al riu, per tant, l'impacte ecològic és reduït.

### 3.3 Estacions d'aigua residual

#### 3.3.1 Tipus d'EDAR del Riu Llobregat

A continuació es mostren dues taules on es llisten les diferents estacions depuradores que es troben en el tram del riu Llobregat estudiat. Les depuradores estan separades en dues taules segons les dues comarques estudiades, el Berguedà i el Bages. (Taula 3.7 i Taula 3.8)

En les taules es mostren els paràmetres necessaris per fer la comparativa de les depuradores a més de l'especificació del tipus de tractament secundari que utilitzen. Aquests paràmetres són el MES (matèries en suspensió), N (nitrogen), P (fòsfor), DBO<sub>5</sub> (demanda biològica d'oxigen), DQO (Demanda química d'oxigen) i la Població equivalent .

La DQO mesura la quantitat d'oxigen necessari per a l'oxidació de la matèria, però no distingeix entre la matèria orgànica i l'inorgànica sinó que mesura la necessitat total d'oxigen.

La DBO<sub>5</sub> és la demanda biològica d'oxigen després de 5 dies. És l'oxigen necessari per el microorganismes per oxidar la matèria orgànica en 5 dies. És una manera de mesurar el contingut de matèria orgànica.

La població equivalent és un terme que relaciona la DBO<sub>5</sub> amb la quantitat d'habitants, es calcula sabent que 1 habitant equivalent produeix 60g DBO<sub>5</sub>, per tant sabent la quantitat de matèria orgànica que conté l'aigua es poden saber els habitants equivalents a que correspon.

En les taules següents s'ha especificat el tipus de tractament secundari que utilitzen les diferents EDAR ja que, tal i com hem dit anteriorment, segons el tipus de tractament secundari utilitzat hi haurà un major o un menor consum energètic.

Tenim un total de 25 depuradores en el tram del Llobregat estudiat, de les quals 12 estacions són al Bages i 13 al Berguedà.

Les dades de les depuradores han sigut aconseguides mitjançant la pàgina oficial de l'ACA, els passos a seguir per aconseguir-les es troben en **L'ANNEX E**.

Una mostra de les fitxes tècniques on hem extret la informació que apareix en les taules 3.7 i 3.8 es pot veure en **L'ANNEX H**.



Taula 3.7 Dades de les EDAR instal·lades en el riu Llobregat (Berguedà) (Font: ACA)

DEPURADORES BERGUEDÀ (CONCA LLOBREGAT)										
LLOC	Any	Tipus de tractament	Tipus tractament secundari	Cabal disseny [m <sup>3</sup> /dia]	MES disseny [mg/L]	N disseny [mg/L]	P disseny [mg/L]	DBO5 disseny [mg/L]	Població equivalent disseny [h-e]	DQO disseny [mg/L]
BAGÀ/ GUARDIOLA B	1997 2005	Biològic	Fangs activats	3.000	300	15	3	200	10.000	nl
BERGA	1995	Biològic	Fangs activats	8.300	300	48	10	300	41.500	680
CASSERRES	2001	Biològic	Fangs activats	475	345	nl	nl	278	2.201	nl
CASTELLAR DE N'HUG	2005	Biològic amb eliminació de Nitrogen	Fangs activats	240	250	70	15	500	2.000	nl
CERCS	1998	Biològic	Fangs activats	500	250	40	5	300	2.500	nl
GIRONELLA	1996	Biològic	Filtre percolador	1.500	nl	nl	nl	350	8.750	nl
GUIXARÓ	2013	Tractament Primari	No té	56	529	nl	nl	353	328	706
GÓSOL	2013	Biològic amb eliminació de Nitrogen i Fòsfor	Fangs activats	200	450	57	15	300	1.000	600
MONTMAJOR	2013	Biològic	Biodisc	32	636	nl	nl	509	271	nl
NOU DE BERGUEDÀ	2013	Biològic	Biodisc	80	nl	nl	nl	350	467	nl
LA POBLE DE LILLET	2011	Biològic amb eliminació de Fòsfor i Nitrogen	Fangs activats	600	310	67	11	410	3.500	743
PUIG-REIG	2005	Biològic	Filtre percolador	1.317	523	nl	nl	389	8.538	nl
SANT CORNELI DE CERCS	2009	Biològic	Fangs activat	50	360	70	nl	330	275	nl

Taula 3.8 Dades de les EDAR instal·lades en el riu Llobregat (Bages) (Font: ACA)

DEPURADORES BAGES (CONCA DEL LLOBREGAT)										
Lloc	Any	Tipus de tractament	Tipus tractament secundari	Cabal disseny [m <sup>3</sup> /dia]	MES disseny [mg/L]	N disseny [mg/L]	P disseny [mg/L]	DBO <sub>5</sub> disseny [mg/L]	Població equivalent disseny [h-e]	DQO disseny [mg/L]
AVINYÓ	2002	Biològic amb eliminació de Fòsfor	Fangs activats	650	400	61	13	400	4.333	890
BALSARENY	1991	Biològic	Filtre percolador	1.500	300	nl	nl	375	9.375	nl
CARDONA	1998	Biològic amb eliminació de Nitrogen	Fangs activats	1.500	450	50	nl	375	9.375	nl
CASTELLNOU DEL BAGES	2004	Biològic amb eliminació de Nitrogen	Fangs activats	500	450	50	nl	300	2.500	nl
MANRESA	1985	Biològic amb eliminació de Nitrogen i Fòsfor	Fangs activats	53.500	310	40	nl	220	196.167	nl
MUJAL (NAVÀS)	2003	Tractament tou*	Filtre percolador	30	nl	nl	nl	nl	nd	nl
NAVARCLES/SANT FRUITÓS/SANTPEDOR	1996	Biològic amb eliminació de nitrogen i Fòsfor	Fangs activats més digestor anaerobi	14.162	244	40	nl	385	90.873	770
NAVÀS	1998	Biològic	Fangs activats	1.500	nl	nl	nl	350	8.750	nl
SALLENT/ARTÉS	1995	Biològic amb eliminació de Fòsfor i nitrogen	Fangs activats	3.800	465	88	8	427	27.043	nl
SANT FELIU DE SASSERRA	2015	Biològic	Fangs activats	340	600	75	10	350	1.983	900
SÚRIA	1995	Biològic	Fangs activats	1.705	569	nl	nl	531	15.089	nl

Les dades de disseny, que apareixen en les taules 3.8 i 3.7, són paràmetres pels que ha estat dissenyada la instal·lació depuradora, i dins dels quals l'estació depuradora funcionarà correctament. Per sobre d'aquests paràmetres no es pot garantir el correcte funcionament de la instal·lació depuradora.

A continuació mostrem el significat de dos paràmetres vists en les taules 3.8 i 3.9: **nd**=paràmetre no disponible i **nl**=paràmetre no limitat. El significat d'aquest últim, per exemple si parlem de Fòsfor es vol indicar que per a aquella depuradora no hi ha una obligació o limitació a tenir en compte per a aquella qüestió.

**\*Tractament tou:** Aquest tipus de tractament està destinat a la depuració d'aigües residuals procedents de petites poblacions. Aquest tipus de tractament és fàcil d'instal·lar i requereix poc manteniment.

Es coneix com a tractament tou, les Llacunes, els aiguamolls artificials i els filtres verds. El llacunatge consisteix en disposar l'aigua en estants de terra impermeabilitzats, de gran superfície i poc profunds. Els aiguamolls són com llacunes però de poca profunditat i amb vegetació emergent. Finalment, els Filtres verds, són aplicació d'aigua residual sobre una superfície on prèviament se li ha instal·lat una massa forestal.

### 3.3.2 Tipus de tractament aplicats a les EDAR del cas d'estudi

Només 5 de les depuradores estudiades porten a terme el tractament més complet, el tractament biològic amb separació dels nutrients (nitrogen i fòsfor). Aquestes 5 depuradores apliquen un tractament de fangs activats, que és la tècnica que permet, amb la introducció d'altres dispositius, l'eliminació de la matèria orgànica a més de l'eliminació dels nutrients.

El tractament més emprat és el biològic sense l'eliminació de nutrients que l'utilitzen 14 estacions depuradores estudiades.

A continuació, en la taula 3.9, es mostra el recompte de les depuradores segons el tipus de tractament que utilitzen.

**Taula 3.9** Recompte de les EDAR que utilitzen cada tipus de tractament (Font: Pròpia)

Tipus de tractament	Nº d'EDAR
<b>Tractament biològic amb eliminació de Nitrogen i Fòsfor</b>	5
<b>Tractament Biològic</b>	13
<b>Tractament biològic amb eliminació de Fòsfor</b>	1
<b>Tractament biològic amb eliminació de Nitrogen</b>	3
<b>Tractament tou</b>	1
<b>Tractament primari</b>	1

Només hi ha una depuradora que utilitzi el tractament biològic amb eliminació de fòsfor, l'estació d' Avinyó. En canvi, hi han tres estacions que tenen el procés biològic amb eliminació de nitrogen. Aquestes dues últimes només eliminen un dels dos nutrients, això pot ser degut a que les aigües residuals que abasteixin aquestes depuradores només siguin riques en un dels dos nutrients. Totes aquelles estacions depuradores que a part de l'eliminació de DBO<sub>5</sub> també eliminen els nutrients utilitzen el tractament per fangs activats.

A continuació es mostra un gràfic on s'especifica el % de depuradores que utilitzen cada tipus de tractament.

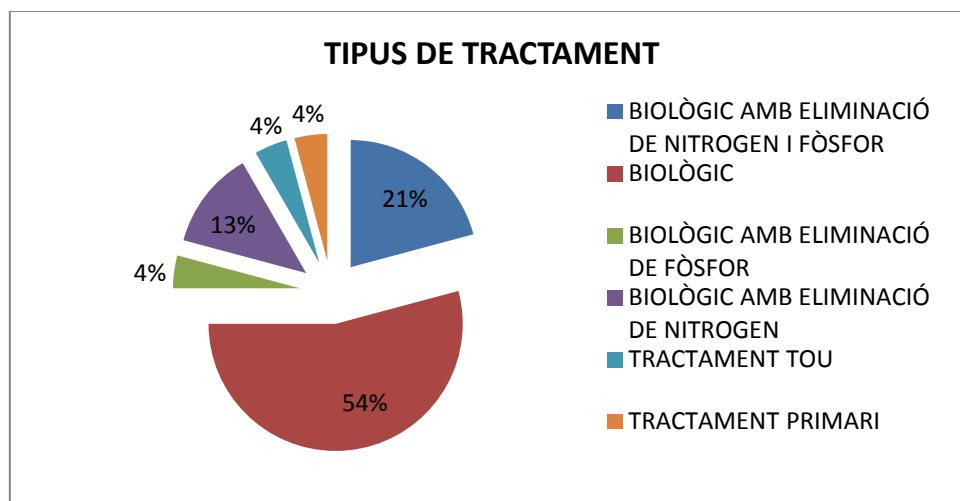


Figura 3.40 Tipus de tractaments utilitzats per les EDAR del cas d'estudi (Font: Pròpia)

De tipus de tractament secundari hi ha diferents tipus: de fangs activats, de biomassa fixada (Biodiscs o filtre percolador). A continuació estudiarem quins són els tractaments utilitzats en les EDAR del cas d'estudi, realitzarem un gràfic on es reflecteixi el % d'EDAR que utilitzen cada tipus de tractament.

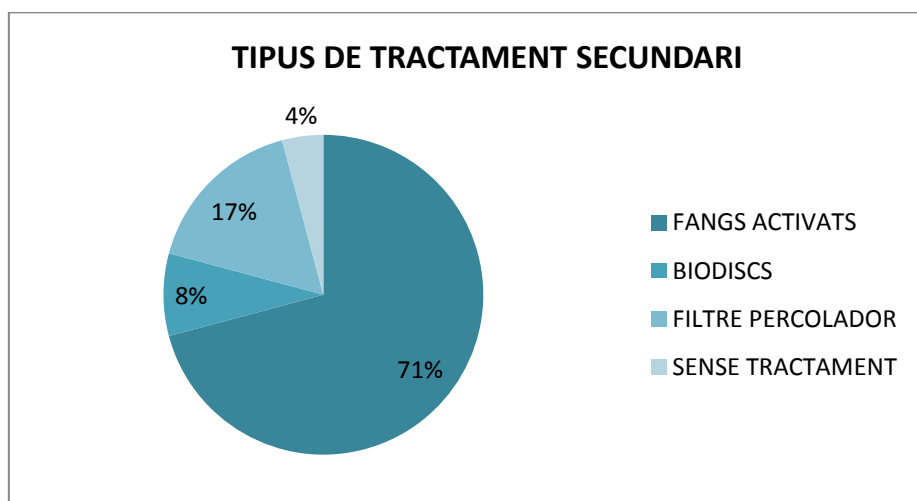


Figura 3.41 Tipus de tractament secundari utilitzats per les EDAR del cas d'estudi (Font: Pròpia)

El tractament secundari més utilitzat en les depuradores és el del fangs activats. El 71% de les EDAR estudiades utilitzen aquesta tècnica, mentre que només un 17% utilitzen el tractament

amb filtres percoladors i la tècnica menys utilitzada és la de biodisc que només la utilitzen un 8% de les EDAR estudiades. També hem d'observar que hi ha una depuradora que no utilitza cap tractament secundari, l'estació depuradora de Guixaró que representa un 4% de les EDAR estudiades. Totes aquestes dades es poden veure en la figura 3.41.

A la taula 3.10 es llisten les depuradores segons el tractament secundari que utilitzen.

**Taula 3.10 Classificació de les EDR segons el tipus de tractament secundari que utilitzin (Font: Pròpia)**

Classificació de les depuradores segons el tipus de tractament secundari que utilitzin.		
Filtres percoladors	Biodiscs	Fangs activats
Gironella Puig reig Mujal (Navàs) Balsareny	Montmajor Nou Berguedà	Avinyó Cardona Castellnou de Bages Manresa Navarcles/Sant Fruitós /Santpedor Navàs Sallent/Artés Sant Feliu de Sasserra Súria Bagà/Guardiola B Berga Casserres Castellar de N'hug Cercs Gósol Poble de L'Illet Sant Cornelli de Cercs

### 3.3.3 Anys de posada en marxa de les EDAR del cas d'estudi

Si ens fixem en l'any de posada en marxa de cada depuradora podem observar que 11 depuradores es van posar en marxa abans del any 2000 i 13 són les que es van posar en marxa després de l'any 2000. L'estació depuradora que porta més anys de funcionament és la de Manresa que es va posar en marxa a l'any 1985. L'EDAR més nova és la de Sant Feliu de Sasserra, que es va construir al 2015. A continuació es mostra a la figura 3.42 el % de depuradores que es van posar en marxa abans del 2000 i les que ho van fer després d'aquest any.

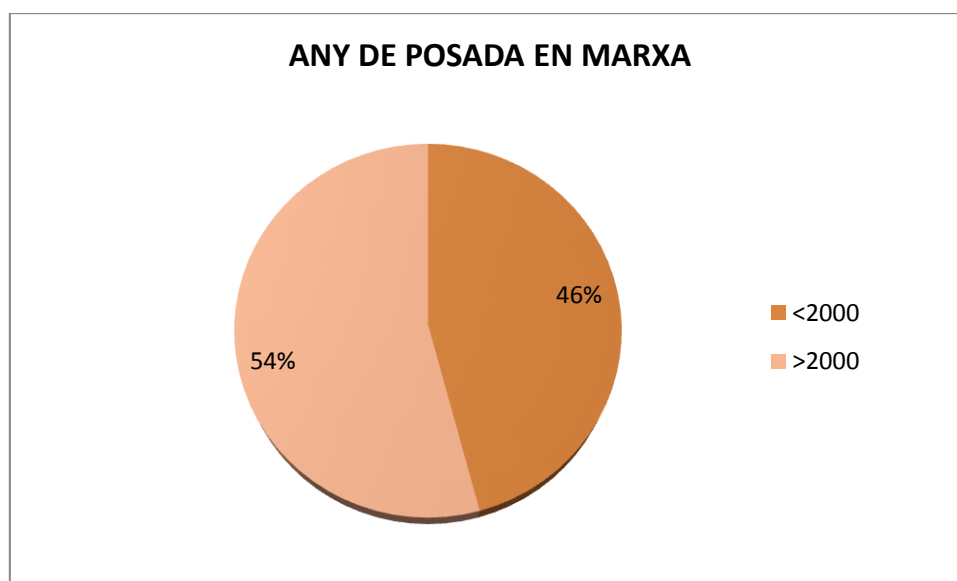


Figura 3.42 Any de posada en marxa de les EDAR del cas d'estudi (Abans o després del 2000) (Font:Pròpia)

Com podem comprovar en el gràfic (figura 3.42), més o menys la meitat de les depuradores estudiades es van posar en marxa abans del 2000 i l'altra meitat després del 2000. Segurament les que es van posar en marxa abans són aquelles EDAR de les grans ciutats que les necessitaven, en canvi les que es van construir després són aquelles que tracten aigua de ciutats petites que inicialment estaven destinades a EDAR d'altres ciutats.

A la figura 3.43, es pot veure amb més detall l'any de posada en marxa de les depuradores:

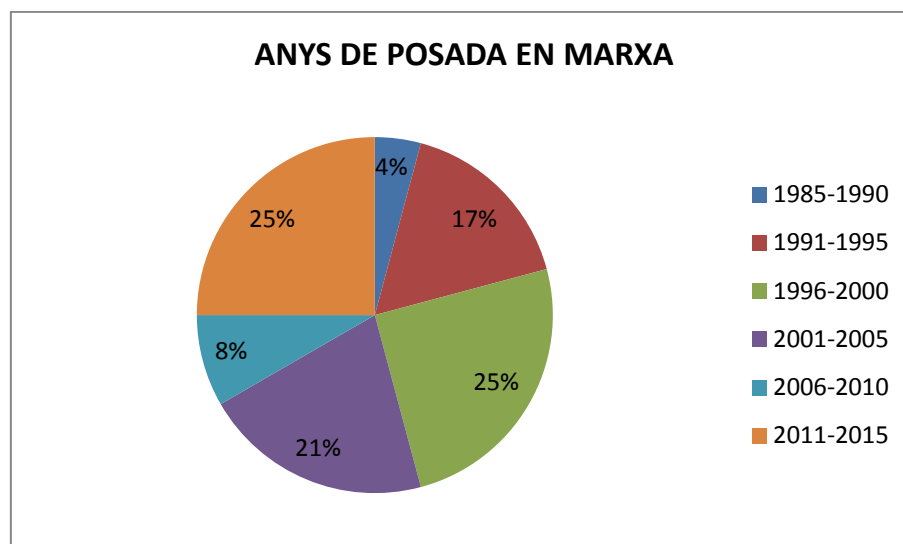


Figura 3.43 Anys de posada en marxa de les EDAR del cas d'estudi (Font:Pròpia)

Entre el 2011-2015 i el 1996-2000 són els períodes on més EDAR es van posar en marxa, i en el període on menys EDAR es van posar en marxa és en el 1985-1990 que només es va posar en marxa la depuradora de Manresa. L'any 2013 es van posar en marxa 4 estacions depuradores: Guixaró, Gósol, Montmajor i Nou Berguedà, és l'any en el que més depuradores van posar-se en marxa.

Per tal de complementar aquestes dades de posada en marxa de les depuradores hem fet una cerca de la normativa vigent sobre el tractament d'aigües residuals.

La *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) és una normativa Europea que engloba diferents paràmetres de regulació de les estacions d'aigua residuals.

Els *Articles 3 i 4 de Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) regulen els habitants equivalents mínims pels quals s'ha d'instal·lar un sistema col·lector d'aigua residuals o un sistema de tractament secundari.

A continuació explicarem tots dos articles, explicant com afecten a les EDAR del cas d'estudi:

### **Article 3 de la Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)**

L'*Article 3* (pàg.96 *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43)) menciona els habitants equivalents mínims per instal·lar un sistema de col·lectors. Un sistema de col·lectors és un sistema de conduccions que recull i condueix les aigües residuals urbanes. Els habitants equivalents i els terminis per implantar aquest sistema són els següents:

1. Data límit 31 de desembre de l'any 2000 en cas d'aglomeracions amb més de 15.000 habitants equivalents.
2. Data límit 31 de desembre de l'any 2005 en cas d'aglomeracions amb d'entre 2.000 i 15.000 habitants equivalents.
3. Quan es tracti d'aigües residuals urbanes dipositades en les anomenades <<zones sensibles>> els sistemes col·lectors s'implantaràn abans de del 31 de desembre del 1998 si hi ha una aglomeració de més de 10.000 habitants equivalents.

Hem de considerar que en la pàgina 56 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) la zona del Llobregat és considerada com a <<zona sensible>> tal i com es mostra a la figura 3.44:

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CATALUÑA	
Cuenca hidrográfica	Zona sensible
Ebro	La Garona
Ebro	La Noguera Ribagorçana
Internas de Cataluña	El Besòs
Internas de Cataluña	El Fluvià
Internas de Cataluña	El Foix
Internas de Cataluña	El Francolí
Internas de Cataluña	El Llobregat
Internas de Cataluña	El Ter
Internas de Cataluña	La Muga
Internas de Cataluña	La Tordera
Internas de Cataluña	Rieres Meridionals

Figura 3.44 Zones sensibles de Catalunya (Font: ref(33))



Segons aquesta afirmació que confirma que la zona del Llobregat és una zona sensible ens fa fixar-nos en el apartat 3 de l'Article 3 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)*(43), que menciona que s'han d'implantar els col·lectors abans del 31 de desembre del 1998 si hi ha una aglomeració de més de 10.000 habitants equivalents.

Aquest apartat afecta sobre 5 EDAR del nostre estudi que superen els 10.000 habitants equivalents: Manresa, Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor, Sallent/Artés, Súria i Berga. Aquestes 5 poblacions van haver d'implementar un sistema col·lector abans de desembre de 1998.

I evidentment coincideix, si mirem les taules de les EDAR del nostre cas d'estudi, les 5 EDAR mencionades es van posar en marxa abans del 1998. Totes a excepció de Manresa que va iniciar el 1985.

Les EDAR del cas d'estudi que entren en el apartat 2 de l'Article 3 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) són les següents: Avinyó, Balsareny, Cardona, Castellnou de Bages, Navàs, Bagà/Guardiola B., Casserres, Castellar de N'hug, Cercs, Gironella, Poble de Lillet i Puig-Reig. Aquestes poblacions van haver d'implantar el sistema de col·lectors abans del 31 de desembre de 2005. De les EDAR mencionades, només La Pobla de Lillet van instal·lar l'EDAR més tard de 2006.

#### **Article 4 de la Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)**

El Article 4 (pàg.96 *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43)) menciona els habitants equivalents mínims per instal·lar un sistema de col·lectors a més de l'aplicació d'un tractament secundari o un tractament equivalent abans de retornar l'aigua. Els habitants equivalents i els terminis per implantar aquest sistema són els següents:

1. Data límit 31 de desembre de l'any 2000 en cas d'aglomeracions amb més de 15.000 habitants equivalents.
2. Data límit 31 de desembre de l'any 2005 en cas d'aglomeracions amb d'entre 10.000 i 15.000 habitants equivalents.
3. Data límit 31 de desembre de l'any 2005 per abocaments en aigües dolces o estuaris que procedeixin d'aglomeracions d'entre 2.000 i 10.000 habitants equivalents.

En el cas d'estudi, les EDAR estudiades aboquen les aigües resultants al Llobregat, per tant ens hem de fixar en el apartat 3 de l'Article 4 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43).

Les EDAR del cas d'estudi que entren dins d'aquest apartat, o sigui, les que tenen entre 2.000 i 10.000 habitants equivalents són: Avinyó, Balsareny, Cardona, Castellnou de Bages, Navàs, Bagà/Guardiola B., Casserres, Castellar de N'hug, Cercs, Gironella, Poble de Lillet i Puig-Reig.

Totes aquestes EDAR segons el apartat 3 de l'Article 4 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) havien d'haver-se posat en marxa abans del 31 de desembre de 2005. Totes les mencionades es van iniciar abans d'aquesta data a excepció de la Pobla de Lillet que es va posar en marxa a l'any 2011 i això pot ser degut a que la població augmentés després de l'any 2005 i quan superés els 2.000 habitants equivalents s'implantés l'EDAR o que incomplís la norma fins que es va construir l'EDAR a l'any 2011.

L'aparat 1 de l'Article 4 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) afecta a Manresa, Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor, Sallent/Artés, Súria i Berga. Aquestes poblacions segons

l'Article 4 haurien d'haver disposat d'una EDAR abans del 31 desembre del 2000 i és així les 5 EDAR es van construir i posar en marxa abans de l'any 2000.

Com a conclusió d'aquest apartat de normatives, l'única EDAR que podria haver incomplert la norma *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) és l'EDAR de La Pobla de Lillet.

A continuació es mostra un gràfic per tal de saber quin % de les EDAR entren dins de la *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43).

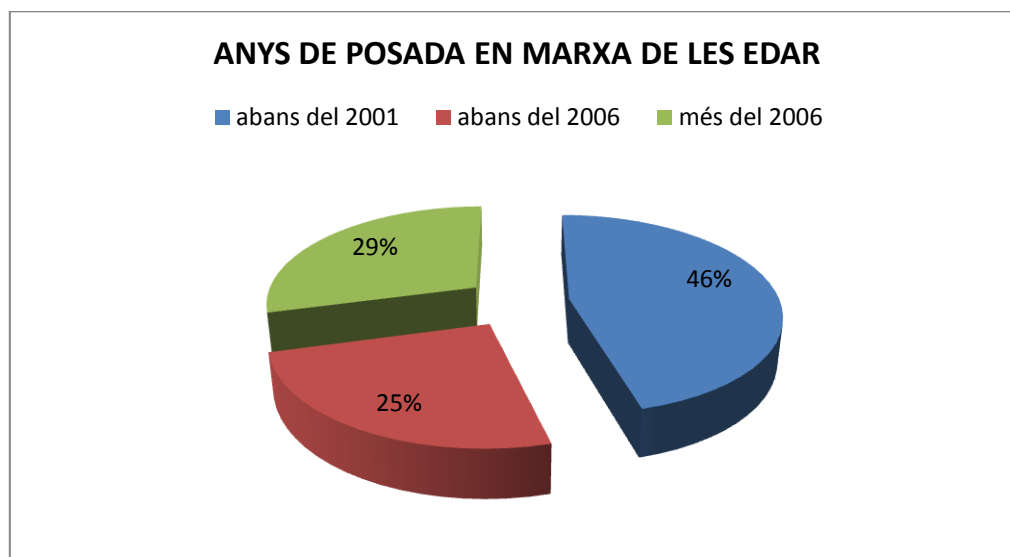


Figura 3.45 Anys de posada en marxa de les EDAR segons el compliment la norma: *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)*. (Font: Pròpia)

El 46% de les EDAR es van posar en marxa abans de l'any 2001 complint amb l'apartat 1 i 3 de l'Article 4 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43).

El 25% de les EDAR del nostre estudi es van posar en marxa abans del 2006 complint amb l'apartat 3 de l'Article 4 de *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43)).

El 29% les EDAR del nostre estudi es van posar en marxa després del 2006. Aquestes EDAR no tenen més de 2.000 habitants equivalents, per tant no han de complir la *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43), conseqüentment, aquestes EDAR poden construir-se i posar-se en marxa en qualsevol moment. L'excepció és l'EDAR de La Pobla de Lillet que si té més de 2.000 habitants equivalents i entra en aquest %, per tant, podria haver estat incomplint la *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43).

#### ❖ Cas de l'EDAR AVIÀ

A data d'avui encara hi ha pobles a Catalunya que no disposen d'estació depuradora i incompleixen la normativa.

Com a cas real d'incompliment de la *Directiva Europea 91/271/CEE (RD 509/96)* (43) tenim la població d'Avià que és l'única població de més de 2.000 habitants que no disposa d'una estació depuradora a Catalunya segons *NacióBerguedà* (44).

Avià és una població del Berguedà que per normativa hauria de disposar d'una estació depuradora, que des de 2009 s'espera la seva construcció. Les obres de l'estació depuradora

van quedar paralitzades com a conseqüència de problemes econòmics de l'empresa encarregada de la construcció tant de l'estació depuradora com del sistema de col·lectors. (44)

A finals de 2015 l'ACA va reprendre el projecte considerant l'obra com a "prioritària" en l'escenari 2016-2021 i anunciant la posada en marxa d'aquesta a principis de 2016 (44). Malgrat això el projecte va quedar aturat de nou, com a conseqüència de l'obsolescència del projecte i la necessitat de fer-lo de nou. Fet que provoca directament una major dificultat al projecte i un major temps de termini per la construcció de l'estació depuradora que és totalment necessària.

El problema principal que suposa que en Avià no hi hagi depuradora no és el fet del l'incompliment de la normativa, sinó, del fet de que les aigües residuals del municipi van a parar a la riera de Coforb, on es produeixen greus problemes de salubritat en l'entorn natural, però també urbà (44). Problemes ambientals greus que pateix el poble de Avià per l'impossibilitat de tenir una estació depuradora.

### 3.3.4 Comparativa de les EDAR del cas d'estudi

Si ens fixem en l'abastiment de les diferents EDAR, podem observar que: l'estació depuradora que més cabal d'aigua residual tracta i més població equivalent abasteix, és l'estació depuradora de Manresa. Entre les estacions més petites trobem l'estació de Mújal i la de Montmajor, aquesta última estació depuradora, tot i ser de les més petites, és la que aconsegueix la separació de més quantitat de matèria en suspensió (636mg/L).

**Taula 3.11 Valors màxims o de disseny del cabal i de població equivalent (Font: Pròpia)**

Valors màxims de cabal i població equivalent			
	Lloc	Cabal disseny [m <sup>3</sup> /dia]	Població equivalent [població equivalent]
<b>Mínim</b>	Montmajor	32	271
	Mújal	30	
<b>Màxim</b>	Manresa	53.500	196.167

L'estació depuradora que aconsegueix separar una major quantitat de Nitrogen és l'estació depuradora de Sallent/Artés que separa 88mg/L. Tot i que les estacions que aconsegueixen extreure més quantitat de fòsfor són les de Castellar de N'hug i la de Gósol, extraient uns 15 mg/L. Tant la depuradora de Sallent/Artés com la de Castellar de N'hug i com la de Gósol, realitzen un tractament biològic amb eliminació de fòsfor i de nitrogen, que és el tractament més complert. Tal i com es veu a la taula 3.12 aquestes tres depuradores són les estacions que més quantitat de nitrogen i fòsfor poden arribar a separar.

L'estació que permet una major separació de matèria orgànica és la de Súria amb una separació de 531mg/L de DBO<sub>5</sub>, és una estació que utilitza com a tractament secundari el de fangs activats, té un cabal de 1.705 m<sup>3</sup>/dia, no dels més grans i el més destacable és que aquesta estació depuradora és de les més antigues posada en funcionament al 1995, per tant tot i la seva antiguitat és la més eficient en termes de separació de matèria orgànica.

A continuació es mostra una taula amb els valors màxims de cada paràmetre i les estacions implicades:

**Taula 3.12 Valors màxims o de disseny dels paràmetres i EDAR implicades (Font: Pròpia)**

Valors màxims dels paràmetres i EDAR implicades								
Lloc	Any	Cabal	MES [mg/L]	N [mg/L]	P [mg/L]	DBO5 [mg/L]	Població equivalent [h-e]	DQO [mg/L]
MONTMAJOR	2013		636			509		
SALLEN ARTÉS	1995			88				
CASTELLAR DE N'HUG	2005				15			
GÓSOL	2013				15			
MANRESA	1985	53.500					196.167	
SANT FELIU DE SASERRA	2015							900
SURIA	1995					531		

Prèviament vam suposar que les EDAR que tindrien els valors màxims serien aquelles EDAR que es van posar en marxa més recentment, però observant la taula 3.12, podem veure que estacions com Súria, Sallent/Artés són estacions que es van posar en marxa fa 21 anys, i tot i això tenen valors màxims de separació de DBO<sub>5</sub> i Nitrogen. Per tant, podem concloure que no depèn de l'any de posada en marxa sinó de l'eficiència de separació de cada estació depuradora.

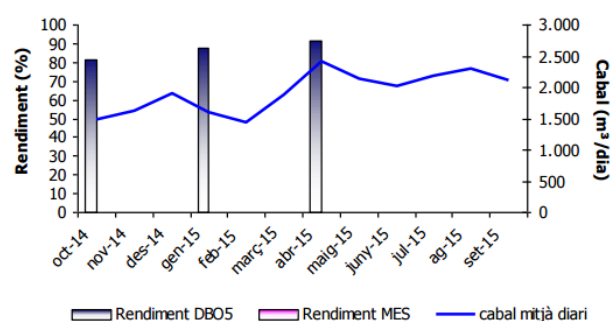
Basant-nos en aquesta última afirmació podríem concloure que els processos que utilitzen fangs activats són els que extreuen més matèria orgànica de l'aigua residual, però si ens fixem, la següent estació depuradora que més matèria orgànica separa és l'estació de Montmajor, amb una separació de 509 mg/L de DBO<sub>5</sub>, tal i com es mostra a la taula 3.12, aquesta estació és petita i va ser construïda fa 3 anys, pertany al grup de depuradores més recents i té un tractament biològic de Biodiscs. Per tant, comparant la tècnica de Biodisc i la de fangs activats a partir de les taules podem concloure que accionades correctament poden aconseguir una separació de matèria orgànica molt similar. L'estació de Castellar de N'hug seria la tercera estació més eficient en separació de DBO<sub>5</sub> ja que, abasteix 500mg/L d'aquest, aquesta estació tracta l'aigua a partir del procés de fangs activats.

**Taula 3.13 Valors màxims o de disseny de separació de DBO<sub>5</sub> i EDAR implicades (Font: Pròpia)**

Valors màxims de separació de DBO <sub>5</sub>		
Lloc	Tipus de tractament secundari	DBO5 [mg/L]
MONTMAJOR	Biodisc	509
SURIA	Fangs activats	531
CASTELLAR DE N'HUG	Fangs activats	500

Les depuradores amb el tractament de fangs activats tenen una eliminació de matèria orgànica d'entre 200-531 mg/L DBO<sub>5</sub>, tot i que la majoria de les estacions depuradores estan entre 300-400 mg/L DBO<sub>5</sub>. Les depuradores amb el sistema de filtres percoladors tenen una separació d'entre 350-389 mg/L DBO<sub>5</sub>. I les dues depuradores que utilitzen biodiscs tenen una separació de 350-509 mg/L DBO<sub>5</sub>. Per tant, tal i com hem dit anteriorment els que aconseguixen els valors més elevats de separació de DBO<sub>5</sub> són els tractaments de Biodiscs i els de fangs activats. Tot i que per altre banda el valor més reduït de mg/L de DBO<sub>5</sub> també és una depuradora que fa el tractament de fangs activats, la depuradora de Bagà/Guardiola B, tot i que aquesta tingui el valor més reduït (200 mg/L de DBO<sub>5</sub>) no vol dir que no separi eficientment, per veure l'eficiència del seu procés hem de mirar el rendiment de separació.

A continuació farem una comparativa del rendiment de separació de DBO<sub>5</sub> de diferents estacions depuradores amb diferents tractaments secundaris.



**Figura 3.46 Rendiment de separació de DBO<sub>5</sub> de l'EDAR de Bagà/Guardiola (Fangs activats) (Font :ACA)**

A la figura anterior es mostra el rendiment d'eliminació de DBO<sub>5</sub> de la depuradora de Bagà/Guardiola B. en relació al cabal. A la figura 3.46 es mostra com a cabals més reduïts el rendiment és menor i a cabals més elevats d'aigua el rendiment de separació és més gran, per tant hi ha una certa relació entre el rendiment i la càrrega d'entrada. Segons la gràfica podem observar que la tècnica de fangs activats té una certa sensibilitat als xocs de càrrega. Tot i que sabem que aquesta depuradora pot arribar a separar 200 mg/L de DBO<sub>5</sub>, una quantitat reduïda si la comparem amb altres depuradores, veiem que el seu rendiment és del 95% en el millor dels casos, per tant, el fet de que tingui un valor de DBO<sub>5</sub> reduït indica que l'aigua que es tracta en la depuradora de Bagà/Guardiola B no té una gran quantitat de matèria orgànica. Per tant podem comprovar que el tractament de fangs activats és un tractament eficient en separació de matèria orgànica.

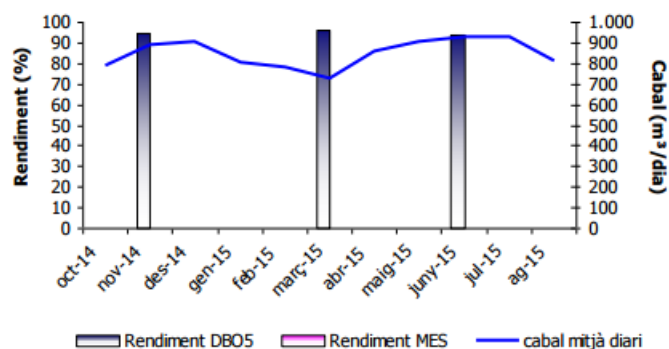


Figura 3.47 Rendiment de separació de DBO<sub>5</sub> de l'EDAR de Balsareny (Filtres Percoladors) (Font :ACA)

Aquesta figura correspon a la depuradora de Balsareny que el seu tractament secundari consta d'un filtre percolador. En la figura podem observar que el rendiment es manté molt constant i elevat, tot i que al març del 2015 hi ha una caiguda del cabal, per tant vol dir que aquest sistema és menys sensible a la disminució de càrrega que el dels fangs activats. Això suposa un gran avantatge d'aquest tipus de tractament. Respecte a la figura que hem comentat anteriorment la de Bagà/Guardiola, podem observar que aquesta era per cabals més elevats de 2000 m<sup>3</sup>/dia, en canvi en l'estació de Balsareny no arriba a 950 m<sup>3</sup>/dia. El sistema de tractament per fangs activats té la capacitat de poder tractar més càrrega.

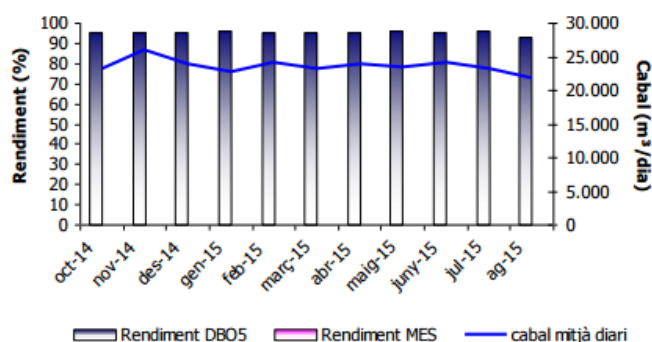


Figura 3.48 Rendiment de separació de DBO<sub>5</sub> de l'EDAR de Manresa (Fangs activats) (Font :ACA)

Aquesta figura correspon a l'estació depuradora de Manresa. Es pot considerar pràcticament constant tant el rendiment com el cabal, només hi ha una certa reducció del cabal en agost del 2015 i com a conseqüència d'això hi ha una reducció del rendiment de separació, a causa de com hem dit anteriorment, la sensibilitat dels tractaments de fangs activats als xocs de càrrega, tot i que és possible que a cabals més grans aquesta sensibilitat no és tant elevada. I confirmem el mateix que hem fet amb la figura 3.46 de Bagà/Guardiola B, que els tractaments de fangs activats tenen un rendiment de separació elevat.

### 3.3.5 Energia consumida per EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats

Com hem dit anteriorment, el tractament de les aigües residuals en les estacions depuradores té unes necessitats energètiques que hem de tenir en compte, aquestes s'originen a partir de la necessitat d'aireació, d'agitació, si utilitzem la tècnica dels fangs activats, de bombeig de l'aigua, si utilitzem la tècnica de filtres percoladors, o de la rotació del biodisc, en el cas de la tècnica de biodisc.

A continuació es mostra una taula on es plasma el ratio d'energia de diverses depuradores. El ratio és la relació entre els kWh consumits i els m<sup>3</sup> d'aigua tractada. Aquesta relació l'obtenim de diverses estacions depuradores en diversos mesos.

Taula 3.14 Ratio d'energia d'algunes EDAR (Font: Aigües de Manresa)

	RATIO ENERGIA												
	KWh consumit/m <sup>3</sup> d'aigua tractada												
	gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre	novembre	desembre	valor mig
Manresa	0,53	0,50	0,54	0,48	0,48	0,50	0,50	0,49	0,50	0,46	0,46	0,49	<b>0,49</b>
Sant Fruitós de Bages	0,58	0,67	0,50	0,45	0,42	0,34	0,34	0,75	0,70	0,56	0,60	0,99	<b>0,58</b>
Sant Salvador de Guardiola	0,79	0,71	0,81	0,80	0,59	0,58	0,72	0,60	0,63	0,55	0,63	0,78	<b>0,68</b>
Navàs	0,89	0,99	1,19	1,18	0,68	0,63	0,70	0,60	0,62	0,72	0,78	1,32	<b>0,86</b>
Pont de Vilomara	1,42	1,46	1,55	1,65	1,11	1,03	0,95	1,00	0,97	0,93	0,98	1,45	<b>1,21</b>
Castellnou de Bages-El Serrat	1,48	1,39	1,25	1,05	0,72	0,96	1,04	1,03	0,96	0,90	0,90	1,90	<b>1,13</b>

Aquesta taula ens dona la relació entre l'energia consumida i el cabal tractat, d'algunes depuradores, que juntament amb la informació de les taules anteriors ens permetrà saber el consum d'energia diari que hi ha en les diferents estacions depuradores. Tot i que no tots els municipis que apareixen en aquestes taules entren en el cas d'estudi, tals com el Pont de Vilomara (ja que arriba fins a Manresa) utilitzem les dades per deduir l'equació matemàtica que relaciona el cabal d'aigua tractat i l'energia consumida de cada una de les depuradores, del cas d'estudi.



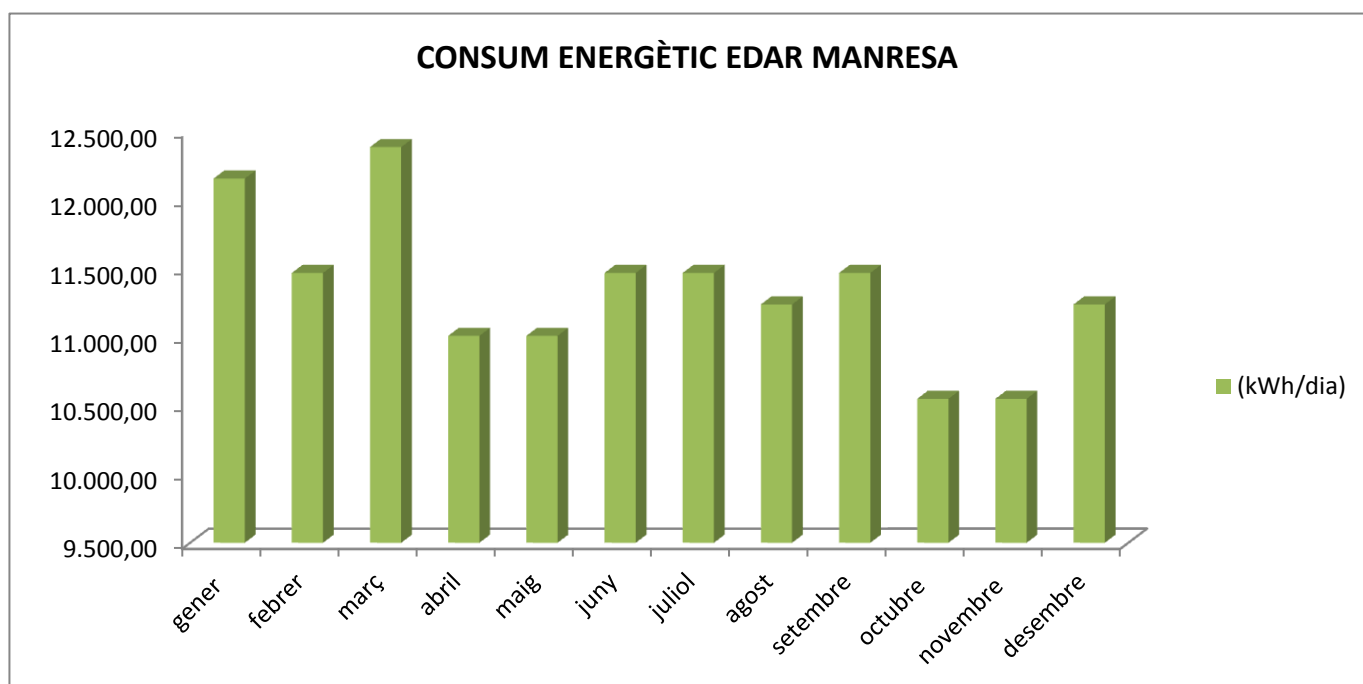
El ratio que apareix la taula 3.14 ens permetrà conèixer el consum energètic de cada mes de Manresa. Multiplicant el cabal de l'EDAR de Manresa per el ratio de cada mes, ens permetrà saber el consum energètic de l'estació depuradora de Manresa cada mes.

El cabal de disseny de l'EDAR de Manresa és  $53.500 \text{ m}^3/\text{dia}$ , aquest cabal el podem trobar a la taula 3.8, aquest pertany al cabal d'aigua de disseny, que és el màxim que podria tractar la depuradora de Manresa. Però el cabal real de la depuradora dista del cabal de disseny, aquest és  $22.933 \text{ m}^3/\text{dia}$ , per tant l'estació no treballa al 100% de la seva capacitat.

Per tant, per saber el consum d'energia mensual multipliquem el ratio pel cabal real.

**Taula 3.15 Energia mensual consumida en l'EDAR de Manresa (Font : Aigües de Manresa)**

Energia mensual consumida en l'EDAR de Manresa (kWh/dia)											
Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
12.154,67	11.466,67	12.384	11.008	11.008,	11.466,67	11.466,67	11.237,33	11.466,67	10.549,33	10.549,33	11.237,33



**Figura 3.49 Consum energètic real de l'EDAR de Manresa (Font: Pròpia)**

Hem de tenir en compte que els kWh/dia que ens apareix en cada mes és el consum energètic diari mig de cada mes.

En la figura 3.49 es mostra el consum de la EDAR de la Manresa de cada mes realitzada a partir de la taula 3.15. El mes en el que hi ha més consum energètic és el març i el que menys octubre i desembre. El valor mitjà de consum energètic de tots els mesos és de 11.332 kWh/dia, tot i que el març pràcticament arriba a 12.000 kWh/dia.

A continuació realitzem una taula on es mostra de cada depuradora el seu consum energètic, que es calcula a partir del ratio promig (taula 3.14) i del seu cabal.

**Taula 3.16 Cabal, ratio i consum energètic d'algunes EDAR (Font: Aigües Manresa)**

Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal (m <sup>3</sup> /dia)	Ratio (KWh/m <sup>3</sup> )	Consum energètic (KWh/dia)
<b>Manresa</b>	Fangs activats	22.933	0,494	11.332,89
<b>Sant Fruitós de Bages</b>	Fangs activats	4.452	0,575	2.559,80
<b>Sant Salvador de Guardiola</b>	Fangs activats	401	0,683	273,74
<b>Navàs</b>	Fangs activats	847	0,858	727,01
<b>Pont de Vilomara</b>	Fangs activats	442	1,208	534,28
<b>Castellnou de Bages-El Serrat</b>	Fangs activats	87	1,132	98,36

En la taula 3.16 queda reflectit el cabal d'aigua real de cada depuradora i a partir d'aquest es calcula el consum energètic mitjançant el ratio. Els cabals que apareixen en la taula 3.8 disten dels cabals que apareixen a la taula 3.16, això és degut a que les EDAR no treballen al 100% de la seva capacitat, per tant el cabal de disseny, que és el màxim que l'EDAR pot abastir, difícilment és el cabal real.

Tal i com es mostra a la taula anterior, les estacions depuradores més grans tenen una relació de consum energètic i cabal més reduït que no pas les estacions més petites. L'estació de Castellnou de Bages- El Serrat té un ratio de 1,132 kWh/m<sup>3</sup>, això vol dir que per a cada m<sup>3</sup> d'aigua tractada en aquesta estació es consumeixen 1,132 kWh d'energia, molt més que l'estació de Manresa, que tot i que tracta un cabal molt més gran, només consumeix 0,49 kWh per cada m<sup>3</sup> d'aigua tractada. Per tant energèticament interessa tractar cabals més grans per a que la relació energia- aigua sigui més reduïda, i en proporció hi hagi menys consum d'energia.

Les depuradores de la taula 3.16 són EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats, hem de tenir en compte que aquelles EDAR que utilitzin tècniques de biomassa fixada, tan filtres percoladors com biodiscs, haurien de tenir un consum energètic inferior ja que no requereixen aireació, fet que provoca un elevat consum energètic. En aquest apartat comprovarem si aquesta afirmació és correcta.

A part de les dades de la taula 3.16 proporcionades per Aigües Manresa, hem obtingut dades de les EDAR del Berguedà proporcionades pel Consell comarcal del Berguedà. A continuació es mostraran les dades en dues taules, on apareixen el cabal real mensual y l'energia real mensual consumida durant l'any 2015.

Taula 3.17 Dades del cabal d'aigua real tractat per les EDAR del Berguedà (Font :Consell Comarcal del Berguedà)

CABAL REAL TRACTAT (m <sup>3</sup> /mes) PER LES EDAR DEL BERGUEDÀ												
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	desembre
<b>Bagà/Guardiola B</b>	49.614	40.550	58.629	72.701	66.614	60.659	67.665	71.404	63.463	44.673	44.015	44.163
<b>Berga</b>	136.530	114.829	127.320	125.184	126.291	144.267	130.629	145.938	149.815	138.734	147.004	133.361
<b>Casserres</b>	13.396	9.635	9.302	7.943	7.646	7.805	7.681	8.820	7.268	6.646	7.379	6.527
<b>Castellar de N'hug</b>	2.094	2.913	3.115	2.297	1.835	1.811	1.935	3.037*	2.476	2.847	2.704	2.296
<b>Cercs</b>	17.189	11.941	11.048	11.055	11.974	10.976	9.064	9.494	11.405	9.925	9.532	9.599
<b>Poble de Lillet</b>	6.774	5.391	7.248	8.580	7.719	7.694	8.282	9.248	11.738	11.019	11.124	8.147
<b>Sant Corneli de Cercs</b>	2.694	648	1.195	998	754	795	1.024	2.370	2.122	641	2.375	2.006

Taula 3.18 Dades del cabal d'aigua tractada per les EDAR del Berguedà (Font :Consell comarcal del Berguedà)

CABAL REAL TRACTAT (m <sup>3</sup> /dia) PER LES EDAR BERGUEDÀ					
EDAR	Cabal (m <sup>3</sup> /any)	Cabal (m <sup>3</sup> /dia)	EDAR	Cabal (m <sup>3</sup> /any)	Cabal (m <sup>3</sup> /dia)
<b>Bagà/Guardiola B</b>	684.150	<b>1.874,38</b>	<b>Cercs</b>	133.202	<b>364,94</b>
<b>Berga</b>	1.619.902	<b>4.438,09</b>	<b>Poble de Lillet</b>	102.964	<b>282,09</b>
<b>Casserres</b>	100.048	<b>274,10</b>	<b>Sant Corneli de Cercs</b>	17.622	<b>48,28</b>
<b>Castellar de N'hug</b>	29.360	<b>80,44</b>			

Taula 3.19 Dades de l'energia real consumida per les EDAR del Berguedà (Font :Consell Comarcal del Berguedà)

ENERGIA REAL CONSUMIDA (kWh/mes) EDAR DEL BERGUEDÀ												
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	desembre
<b>Bagà/Guardiola B</b>	18.449	16.197	19.095	19.507	19.875	17.642	19.181	20.436	18.804	17.512	16.422	17.207
<b>Berga</b>	48.440	47.211	55.703	51.798	61.285	47.641	50.591	50.119	42.919	49.623	37.734	52.017
<b>Casserres</b>	6.753	5.944	5.130	4.499	4.046	4.418	4.138	4.531	4.102	4.879	4.804	5.272
<b>Castellar de N'hug</b>	2.474	2.583	2.730	2.295	1.981	2.092	2.279	2.982	2.458	2.226	1.815	2.202
<b>Cercs</b>	7.496	6.091	5.810	5.531	6.167	5.940	5.990	4.638	4.456	5.129	5.665	5.081
<b>Poble de Lillet</b>	7.206	5.862	6.839	5.936	4.530	5.523	4.997	6.955	6.286	6.751	6.571	5.812
<b>Sant Corneli de Cercs</b>	2.299	2.075	1.895	1.816	1.642	1.737	1.635	2.121	1.970	1.761	2.035	2.004

Taula 3.20 Dades d'energia real consumida per les EDAR del Berguedà (Font: Consell Comarcal del Berguedà)

ENERGIA REAL CONSUMIDA (m³/dia) PER LES EDAR BERGUEDÀ					
EDAR	Energia consumida (kWh/any)	Energia consumida (kWh/dia)	EDAR	Energia consumida (kWh/any)	Energia consumida (kWh/dia)
<b>Bagà/Guardiola B</b>	220.327	<b>603,64</b>	<b>Cercs</b>	67.994	<b>186,28</b>
<b>Berga</b>	595.081	<b>1.630,36</b>	<b>Poble de Lillet</b>	73.268	<b>200,73</b>
<b>Casserres</b>	58.516	<b>160,32</b>	<b>Sant Corneli de Cercs</b>	22.990	<b>62,99</b>
<b>Castellar de N'hug</b>	28.117	<b>77,03</b>			

Com hem dit anteriorment, les EDAR no treballen al seu màxim de capacitat. Després de conèixer dades reals de les EDAR del Berguedà podem calcular el % de capacitat referit al cabal, per conèixer aquest % comparem el cabal real (taula 3.17) amb el cabal de disseny (taula 3.7).

**Taula 3.21 Comparativa cabal de disseny i cabal real de les EDAR del Berguedà (Font:Pròpia)**

<b>COMPARATIVA DEL CABAL DE DISSENY I DEL CABAL REAL DE LES EDAR DEL BERGUEDÀ</b>			
<b>EDAR</b>	<b>Cabal disseny (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Cabal real (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Capacitat (%)</b>
<b>Bagà/Guardiola B</b>	3.000	1.874,38	62,48
<b>Berga</b>	8.300	4.438,09	53,47
<b>Casserres</b>	475	274,10	57,71
<b>Castellar de N'hug</b>	240	80,44	33,52
<b>Cercs</b>	500	364,94	72,99
<b>Poble de Lillet</b>	600	282,09	47,02
<b>Sant Corneli de Cercs</b>	50	48,28	96,56
<b>Manresa</b>	53.500	22.933	42,87
<b>Navàs</b>	1.500	847	56,47
<b>Promig de capacitat 58,12% ≈ 60%</b>			

Prèviament a aquest càlcul, creiem que les EDAR treballaven al 75-80% de la seva capacitat, però tal i com mostra la taula 3.21, les EDAR del cas d'estudi treballen a una capacitat més reduïda.

Observem que les EDAR estudiades no treballen a la seva màxima capacitat. Malgrat que hi ha estacions depuradores que estan vora al 100% com la de Sant Corneli de Cercs, altres estacions com la de Castellar de N'hug té un valor aproximat del 30%.

El promig de les EDAR ens mostra que aquestes treballen aproximadament al 60% de la seva capacitat.

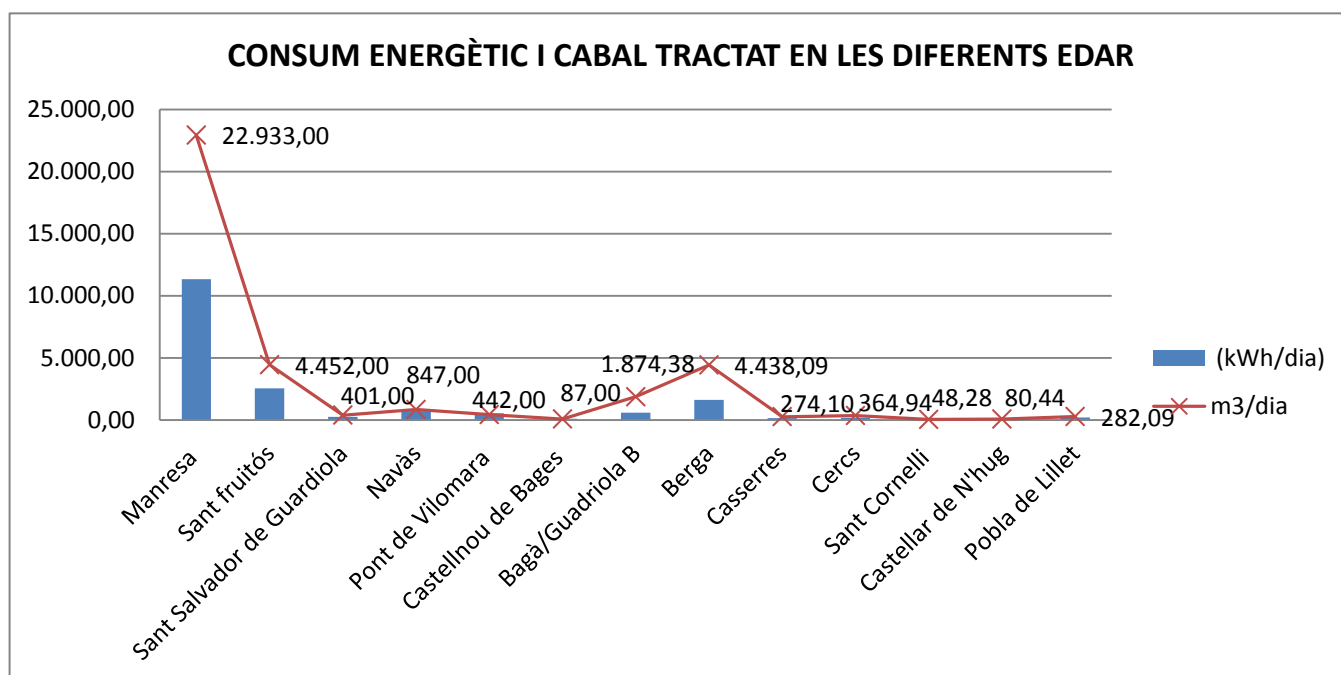
A continuació es mostra una taula resum de cabal i consum d'energia total de les EDAR que hem aconseguit dades:

**Taula 3.22 Taula resum de les EDAR les quals tenim dades reals de cabal i consum energètic (Font :Pròpia)**

EDAR	Cabal real (m <sup>3</sup> /dia)	Consum energètic real (kWh/dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )
Manresa	22.933	11.332,89	0,49
Sant fruitós	4.452	2.559,80	0,57
Sant Salvador de Guardiola	401	273,74	0,68
Navàs	847	727,01	0,86
Pont de Vilomara	442	534,28	1,21
Castellnou de Bages	87	98,36	1,13
Bagà/Guadriola B	1.874,38	603,64	0,32
Berga	4.438,09	1630,36	0,37
Casserres	274,1	160,32	0,58
Cercs	364,94	186,28	0,51
Sant Corneli	48,28	62,99	1,30
Castellar de N'Hug	80,44	77,03	0,96
Pobla de Lillet	282,09	200,73	0,71

No totes les EDAR que apareixen a la taula 3.22 entren al cas d'estudi, tot i que utilitzarem les dades per buscar una relació entre el cabal tractat i l'energia consumida.

La figura 3.50 mostra les dades de la taula 3.22:

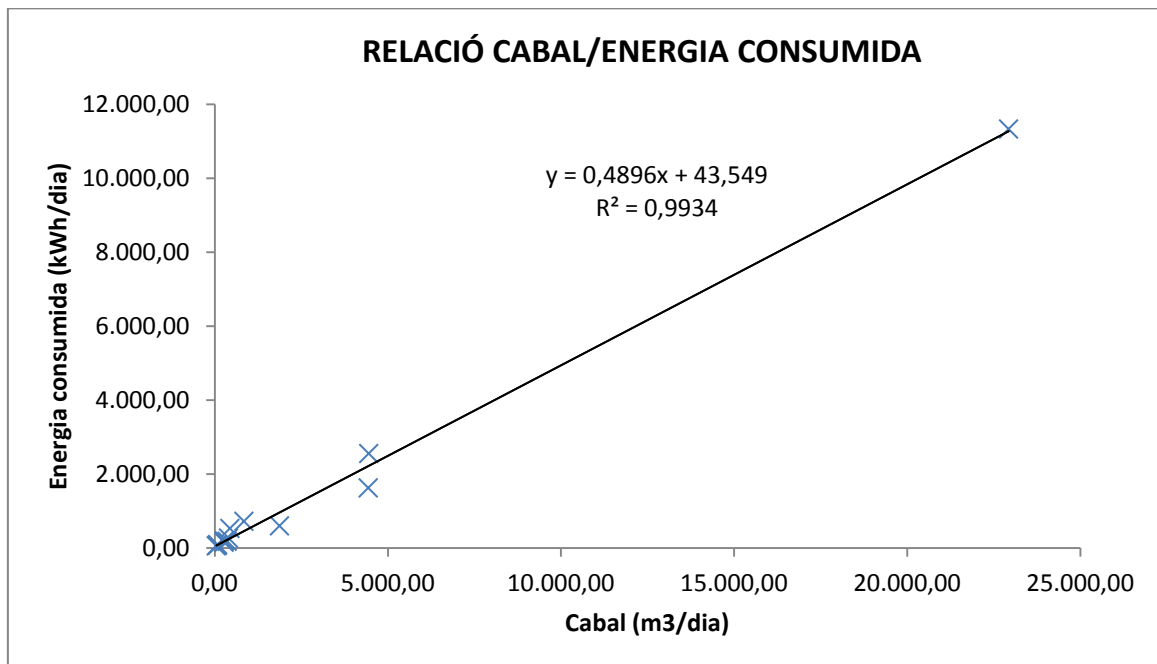


**Figura 3.50 Consum energètic i cabal tractat de les EDAR les quals disposem de dades reals (Font: Pròpia)**

En la figura anterior es pot observar aquest comportament que hem comentat anteriorment. El cabal en l'estació de Manresa és molt més gran que el consum energètic, en canvi en l'estació de Castelltalló de Bages, el cabal és més petit amb un valor de 87 m<sup>3</sup>/dia que el consum energètic que és lleugerament superior amb un valor de 98,36 kWh/dia.

Si observem en la figura 3.50 aquelles EDAR que tenen un petit cabal d'aigua, podem observar que aquestes no tenen un salt elevat entre el cabal tractat i l'energia consumida. Per tant confirmem que s'optimitza més el consum energètic quan s'opera amb cabals grans.

A continuació, a partir de totes les dades reals que tenim de les EDAR, trobarem la relació entre el cabal i el consum energètic, trobarem l'equació que relacioni aquests dos paràmetres per tal de a partir del cabal puguem saber l'energia consumida de les altres EDAR. El gràfic de la figura 3.51 s'ha realitzat de les dades de cabal i consum energètic de la taula 3.22



**Figura 3.51 Relació cabal/Energia consumida de les EDAR les quals disposem dades reals (Font: Pròpia)**

Tal i com es mostra la figura 3.51 , les EDAR ens apareixen agrupades en una zona del gràfic, per evitar això utilitzem una escala logarítmica, i finalment obtenim el gràfic que es mostra a continuació:



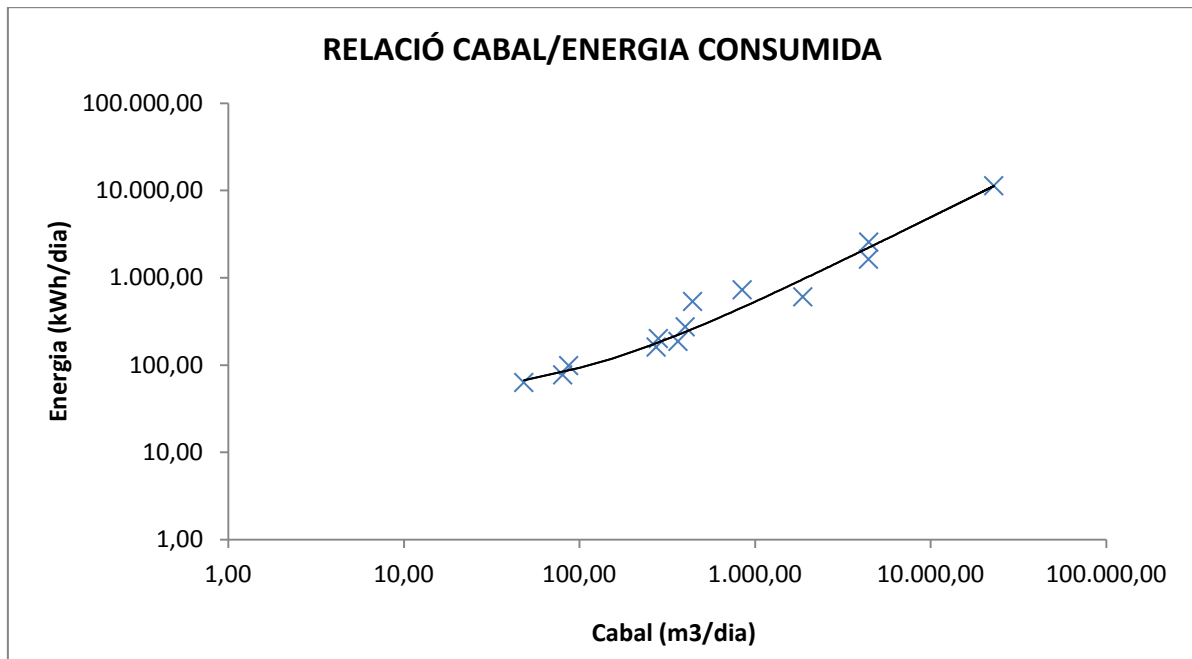


Figura 3.52 Relació cabal/Energia consumida de les EDAR les quals disposem dades reals (Font: Pròpia)

Amb l'escala logarítmica, aconseguim que els punts no quedin tan agrupats i es puguin observar millor. Hem utilitzat el diagrama lineal, i amb aquest obtenim una regressió de 0,9934, és un coeficient elevat, per tant podem considerar que la relació lineal trobada és correcta. Calcularem l'energia consumida a partir de l'equació tenint en compte que hi ha un cert error.

Segons la relació lineal que trobem en la figura anterior ens diu:

$$E = 0,4896 \cdot q + 43,549 \quad (2)$$

On  $e$  és l'energia consumida en  $\frac{kWh}{dia}$

On  $q$  és el cabal tractat en  $\frac{m^3}{dia}$

D'aquesta manera hem aconseguit una relació entre el cabal d'aigua a tractar i l'energia que es consumeix per tractar-la. Utilitzarem aquesta relació per tal d'estimar l'energia que consumeixen les estacions depuradores, les quals no tenim el seu consum real, però només l'utilitzarem en aquelles EDAR que utilitzin la tècnica de tractament de fangs activats.

Podem calcular l'energia màxima que es pot consumir en les depuradores. Això ho farem a partir de la relació (2). Tenint el cabal màxim, que és el de disseny, podem calcular l'energia màxima consumida.

A continuació es llistaran aquelles EDAR que utilitzin fangs activats, on a partir de l'expressió que hem trobat es calcularà l'energia màxima consumida a partir del cabal màxim, de totes les EDAR del cas d'estudi.

**Taula 3.23 Cabal i consum energètic màxim o de disseny de les EDAR que utilitzin fangs activats del Bages**  
(Font: Pròpia)

DEPURADORES BAGES (CONCA DEL LLOBREGAT)		
EDAR	Cabal disseny (m <sup>3</sup> /dia)	Energia màxima consumida (kWh/dia)
AVINYÓ	650	361,79
CARDONA	1.500	777,95
CASTELLNOU DE BAGES	500	288,35
MANRESA	53.500	26.237,15
NAVARCLES/ST FRUITOS/SANTPEDOR	14.162	6.977,26
NAVÀS	1.500	777,95
SALLEN/ARTÈS	3.800	1.904,03
SÚRIA	1.705	878,32
SANT FELIU DE SASERRA	340	210,01

**Taula 3.24 Cabal i consum energètic màxim o de disseny de les EDAR que utilitzin fangs activats del Berguedà**  
(Font: Pròpia)

DEPURADORES BERGUEDÀ (CONCA LLOBREGAT)		
EDAR	Cabal disseny (m <sup>3</sup> /dia)	Energia màxima consumida (kWh/dia)
BAGÀ/GUARDIOLA B	3.000	1.512,35
BERGA	8.300	4.107,23
CASERRES	475	276,11
CASTELLAR N'HUG	240	161,05
CERCS	500	288,35
GÓSOL	200	141,47
POBLE DE L'ILLET	600	337,31
SANT CORNELLI DE CERCS	50	68,03

Observant les dues taules podem destacar que l'EDAR que amb diferència més energia consumeix de totes les EDAR estudiades és la de Manresa, però com hem comentat anteriorment en relació al cabal que tracta aquesta EDAR consumeix poca energia, en comparació amb EDAR més petites.

Per tant, les taules 3.23 i 3.24 mostren l'energia màxima consumida en el cas de que les EDAR del nostre estudi treballin al 100% de la seva capacitat. A continuació fem el sumatori de l'energia màxima consumida per les EDAR.

**Taula 3.25 Sumatori de cabal d'aigua i energia consumida màxima o de disseny de les EDAR que utilitzin fangs activats del cas d'estudi (Font:Pròpia)**

Sumatori de cabal tractat i Energia màxim consumida per totes les EDAR que utilitzen tractament de Fangs Activats.	
$\sum$ Cabal màxim tractat (m <sup>3</sup> /dia)	$\sum$ Energia màxima consumida (kWh/dia)
<b>91.022</b>	<b>45.304,70</b>

En el cas ideal, en el que les EDAR treballin al 100% de la seva capacitat, l'energia consumida seria 45.152kWh/dia.

Però com ja sabem, les EDAR no treballen al màxim de la seva capacitat, per tant, a partir dels cabals reals que tenim calcularem l'energia real consumida per cada EDAR amb la relació (2).

No disposem de totes les dades dels cabals reals, com a conseqüència, aquest cabal l'hauréu d'estimar a partir del cabal de disseny. Es farà una estimació a partir del càlcul mostrat en la taula 3.21 on hem determinat que les EDAR del cas d'estudi treballen al 60% de la seva capacitat, per tant, suposarem que les altres EDAR del nostre cas estudi treballen a la mateixa capacitat. Conseqüentment, es calcularà el cabal real com el 60% del cabal de disseny.

A continuació mostrem les EDAR que no tenim el cabal real:

**Taula 3.26 Estimació del cabal d'aigua tractat per les EDAR que utilitzen fangs activat (Font:Pròpia)**

EDAR	Cabal disseny (m <sup>3</sup> /dia)	Cabal estimat (m <sup>3</sup> /dia) [Cabal real=60% Cabal disseny]
<b>AVINYÓ</b>	650	390
<b>CARDONA</b>	1.500	900
<b>SALLENT/ARTÈS</b>	3.800	2.280
<b>SÚRIA</b>	1.705	1.023
<b>SANT FELIU DE SASERRA</b>	340	204
<b>GÓSOL</b>	200	120

A partir dels cabals reals i la relació (2) calcularem l'energia estimada consumida, de les EDAR de les quals no tenim dades. Calculem l'energia real consumida per a totes les EDAR amb la relació lineal.

**Taula 3.27 Cabal estimat i energia consumida estimada en les EDAR que utilitzen fangs activats (Font: Pròpia)**

	EDAR	Cabal estimat (m <sup>3</sup> /dia)	Energia estimada consumida (kWh/dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )
<b>DEPURADORES BAGES</b>  (CONCA DEL LLOBREGAT)	AVINYÓ	390	234,49	0,60
	CARDONA	900	484,19	0,54
	SALLENT/ARTÈS	2.280	1.159,84	0,51
	SÚRIA	1.023	544,41	0,53
	SANT FELIU DE SASERRA	204	143,43	0,70
<b>DEPURADORES BERGUEDÀ</b>  (CONCA DEL LLOBREGAT)	GÓSOL	120	102,30	0,85


A continuació es mostren dues taules on es reflecteixen les dades definitives d'energia consumida reals i cabals d'aigua reals:


**Taula 3.28 Taula resum de las dades obtingudes i estimades de les EDAR del cas d'estudi que utilitzen fangs activats del Bages. (Font: Pròpia)**

<b>DEPURADORES BAGES</b> (CONCA DEL LLOBREGAT)			
EDAR	Cabal real (m <sup>3</sup> /dia)	Energia real consumida (kWh/dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )
AVINYÓ	390	234,49	0,60
CARDONA	900	484,19	0,54
CASTELLNOU DE BAGES	87	98,36	1,13
MANRESA	22.933	11.332,89	0,49
NAVARCLES/SANT FRUITÓS/SANT PEDOR	4.452	2.559,80	0,57
NAVÀS	847	727,01	0,86
SALLENT/ARTÈS	2.280	1.159,84	0,51
SÚRIA	1.023	544,41	0,53
SANT FELIU DE SASSERRA	204	143,43	0,70

**Taula 3.29** Taula resum de las dades obtingudes i estimades de les EDAR del cas d'estudi que utilitzen fangs activats del Bages. (Font: Pròpia)

DEPURADORES BERGUEDÀ (CONCA LLOBREGAT)			
EDAR	Cabal real (m <sup>3</sup> /dia)	Energia real consumida (kWh/dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )
BAGÀ/GUARDIOLA B.	1.874,38	603,64	0,32
BERGA	4.438,09	1.630,36	0,37
CASSERRES	274,10	160,32	0,58
CASTELLAR DE N'HUG	80,44	77,03	0,96
CERCS	364,94	186,28	0,51
GÓSOL	120	102,30	0,85
LA POBLE DE LILLET	282,09	200,73	0,71
SANT CORNELLI DE CERCS	48,28	62,99	1,30

 EDAR amb l'energia consumida real

 EDAR amb l'energia consumida calculada a partir de la relació lineal (1)

A les taules 3.28 i 3.29 també podem observar els ratios de les EDAR que veiem que oscil·len entre 0,32 i 1,30 kWh/m<sup>3</sup>. La mitjana aritmètica dels ratios és de 0,68 kWh/m<sup>3</sup>, per tant les EDAR estudiades que utilitzen la tècnica de fangs activats, per cada m<sup>3</sup> d'aigua tractada gasten una mitja de 0,68 kWh.

Segons l'informe del IDAE de la petjada energètica del sector de l'aigua en Espanya la potència necessària per a les depuració de les aigües residuals urbanes en Espanya és de 305 MW, que és el mateix que 0,67kWh/m<sup>3</sup> (45). Com podem observar, aquest ratio és molt similar al ratio de les EDAR del cas d'estudi, per tant, aquestes EDAR estudiades segueixen la tendència de consum de les EDAR que han estudiat en l'informe del IDAE.

Observant els ratios es pot veure clarament que les EDAR que tenen cabals petits, Sant Cornelli de Cercs, Castellar de N'hug i Castelnou de Bages, tenen el ratio elevat, entre 0,96 i 1,30 kWh/dia, en canvi les EDAR que tracten cabals grans d'aigua tenen un ratio més petit, per tant consumeixen menys quantitat d'energia per m<sup>3</sup> d'aigua tractada.

Per tant, tal i com es mostra a les taules 3.27 i 3.28, sembla que hi ha una relació entre el ratio i el cabal d'aigua tractada de l'EDAR. A continuació es realitzarà un gràfic a partir de les dades de les EDAR que apareixen en les taules 3.27 i 3.28, però només les dades reals d'aquestes, amb la finalitat de trobar la relació matemàtica entre aquests dos paràmetres:

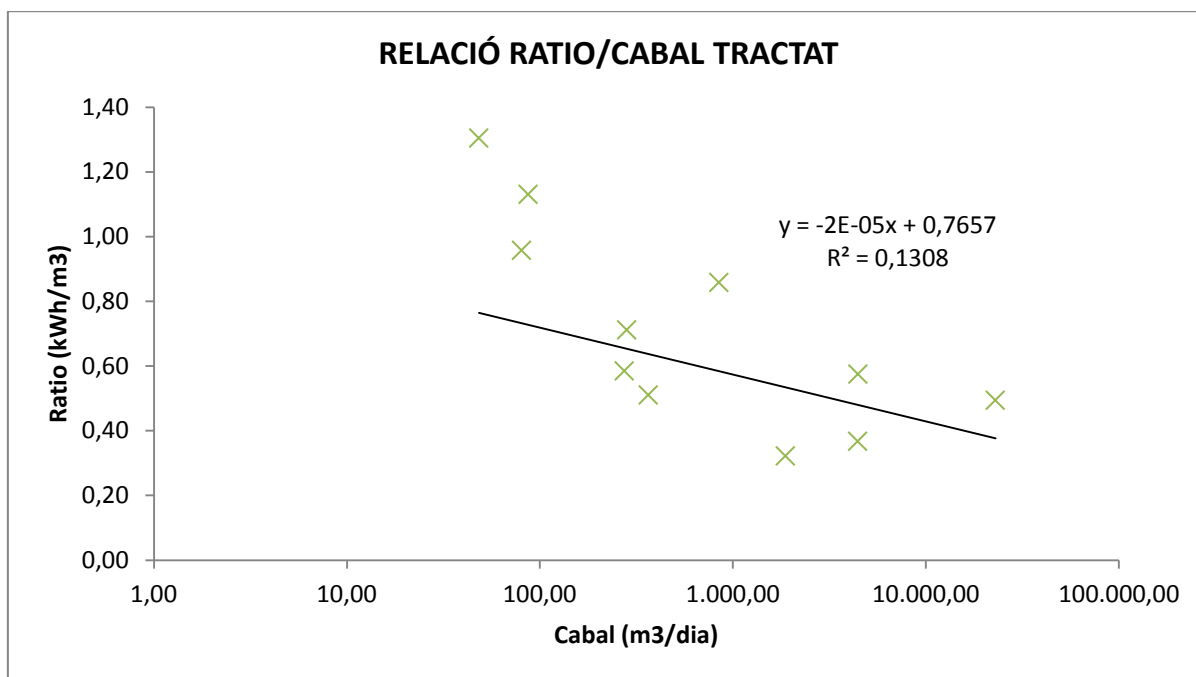


Figura 3.53 Relació ratio/cabal tractat de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (ajust lineal)  
(Font:Pròpia)

Tal i com es mostra a la figura 3.53, podem concloure que no hi ha una bona relació lineal entre el ratio i el cabal tractat de les EDAR, ja que obtenim un coeficient de regressió molt baix i la línia de tendència podem observar que no s'ajusta a la majoria de punts.

Tot i que no hi hagi una relació lineal, podem observar una certa tendència. Els valors més elevats de ratio, coincideixen amb els valors més reduïts de cabals, i a mesura que augmentem el cabal el ratio es van reduint tot i que no es linealment. Per tant, la tendència seria que a quan augmentem el cabal, el ratio disminueix i al contrari.

Aquesta tendència hi ha EDAR que no la segueixen, per exemple, Manresa amb un cabal de 22.933 m³/dia seguint la tendència hauria de tenir un ratio més reduït que Berga, que té un cabal de 4.438,09 m³/dia i Bagà/Guardiola B. que té un cabal de 1.874,38 m³/dia i no és així, sinó que Manresa té un ratio més gran que aquestes dues EDAR tal i com mostra la taula 3.29:

Taula 3.30 Comparativa entre les EDAR de Manresa, Bagà/Guardiola i Berga. (Font:Pròpia)

EDAR	TIPUS DE TRACTAMENT	CABAL (m³/dia)	RATIO (kWh/dia)
MANRESA	Biològic amb eliminació de Fòsfor i Nitrogen	22.933	0,49
BAGÀ/GUARDIOLA B.	Biològic	1.874,38	0,32
BERGA	Biològic	4.438,09	0,37

Aquest fet, podria estar explicat pel tipus de tractament que utilitzen, ja que el tractament d'eliminació de fòsfor i Nitrogen és un tractament més exhaustiu que el biològic sense eliminació d'aquests, conseqüentment, hauria de provocar un consum energètic superior.

Navàs també surt d'aquesta tendència, tal i com es mostra a la taula següent:

**Taula 3.31 Comparativa de les EDAR de Navàs, La Pobla de Lillet i Cercs (Font: Pròpia)**

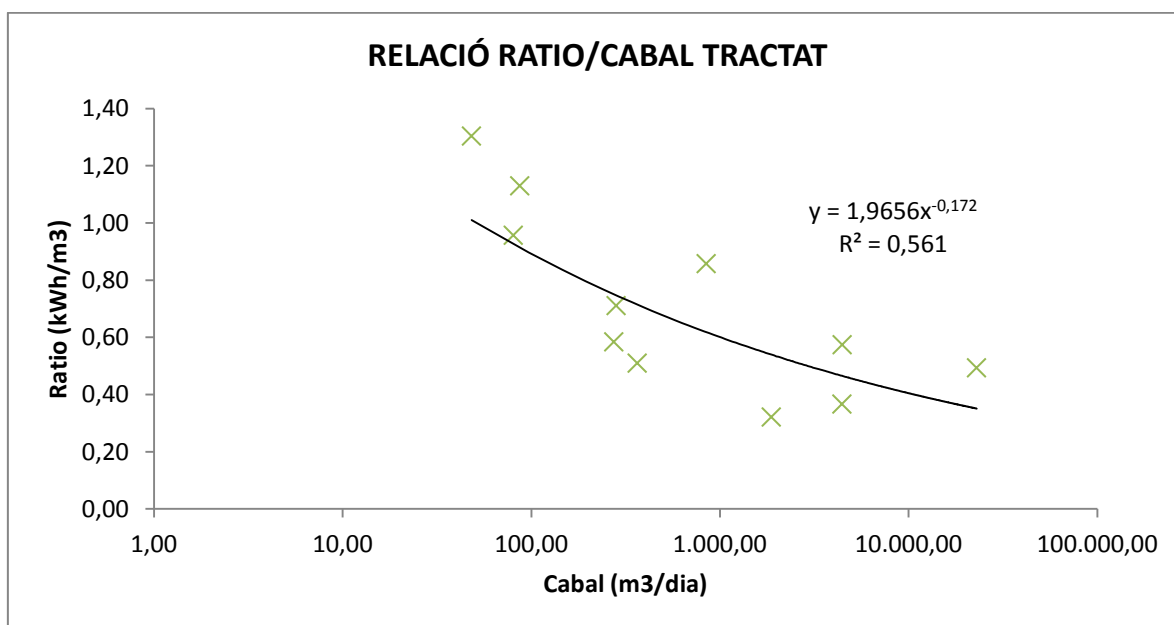
EDAR	TIPUS DE TRATAMENT	CABAL (m <sup>3</sup> /dia)	RATIO (kWh/dia)
NAVÀS	Biològic	847	0,86
LA POBLA DE LILLET	Biològic amb eliminació de Fòsfor i Nitrogen	282,09	0,71
CERCS	Biològic	364,94	0,51

Navàs al tenir un cabal bastant més elevat que La Pobla de Lillet i Cercs, segons la tendència esmentada anteriorment, hauria de tenir un ratio més reduït, i tal i com es mostra a la taula 3.31 no és així, sinó que té un ratio bastant superior.

Tot i això, La Pobla de Lillet amb Cercs, si que segueixen aquesta tendència, ja que Cercs tracta més cabal, i conseqüentment, té un ratio més reduït.

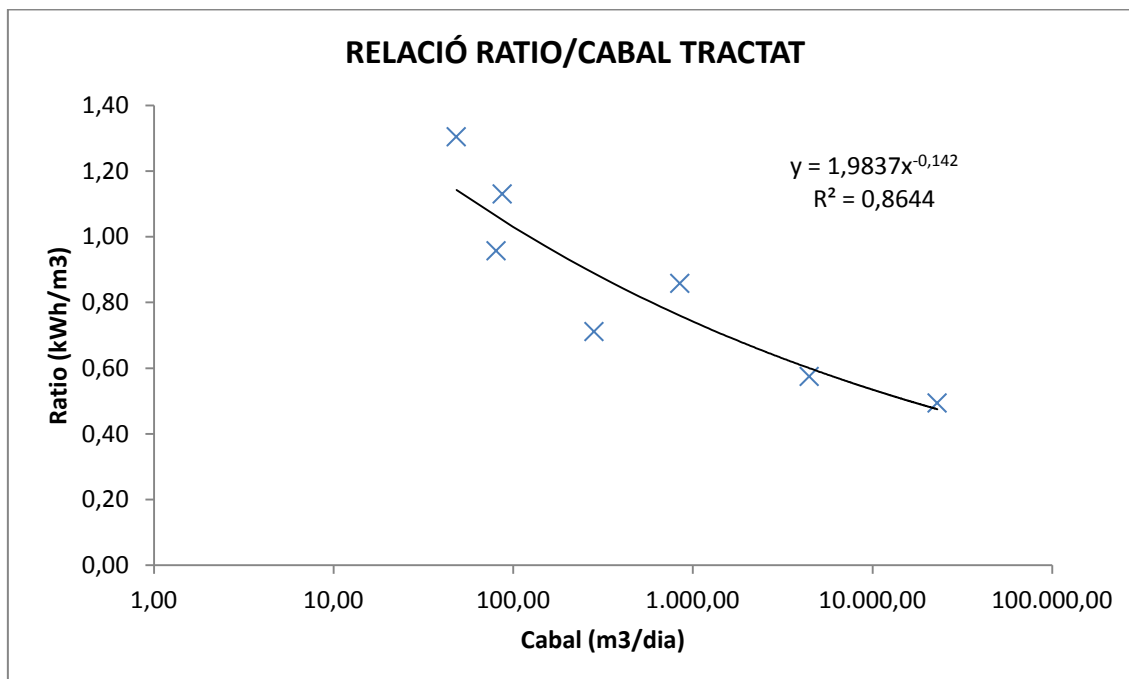
Però també hem d'esmentar que el tractament que utilitza La Pobla de Lillet consumeix més energia que no pas el que utilitza Cercs, ja que té integrada l'eliminació de fòsfor i de nitrogen al seu tractament. Per tant, el fet de que La Pobla de Lillet tingui un ratio més elevat que Cercs podria ser conseqüència de dos factors: del fet tractar un cabal reduït i de tenir un tractament amb eliminació de fòsfor i de Nitrogen.

Tot i que no hem pogut trobar una relació lineal entre el ratio i el cabal tractat, busquem si podem ajustar a una altre equació:



**Figura 3.54 Relació ratio/cabal tractat de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (ajust exponencial)**  
(Font: Pròpia)

Amb aquest ajust aconseguim un valor del coeficient de regressió que no és gaire elevat. Conseqüentment, hem decidit extreure algunes EDAR que no s'ajusten a aquesta relació i s'aconsegueix millorar l'ajust, tal i com es mostra a la figura següent, figura 3.55.



**Figura 3.55 Relació ratio/cabal tractat de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (ajust exponencial amb extracció d'algunes EDAR) (Font:Pròpia)**

Les EDAR que no s'han tingut en compte són: Cercs, Bagà, Casserres i Berga. Ja que, aquestes EDAR eren les que menys s'ajustaven a la recta de regressió.

**Taula 3.32 EDAR que no s'han tingut en compte per l'ajust exponencial de la figura 3.55 (Font:Pròpia)**

EDAR	CABAL (m³/dia)	RATIO (kWh/dia)
<b>BAGÀ/GUARDIOLA B.</b>	1.874,38	0,32
<b>BERGA</b>	4.438,09	0,37
<b>CASSERRES</b>	274,10	0,58
<b>CERCS</b>	364,94	0,51

Comparant Bagà/Guardiola i Berga veiem que no compleixen la relació de més cabal menys ratio, ja que, Berga té més cabal i un ratio superior, per aquest motiu hem considerat que hauríem d'obviar el valor de Berga.

Tant Bagà/Guardiola B., com Casserres, com Cercs, si que compleixen amb la relació de que a més cabal menys ratio, però no s'ajusten a la línia de tendència del gràfic, aquest fet es pot veure clarament en la figura 3.54, i conseqüentment, hem decidit no tenir en compte aquests altres valors.

Altres EDAR com Sant Cornelli de Cercs o La Pobla de Lillet tampoc s'ajusten totalment de la línia de tendència, però considerem que no tenir en compte les dades de les 4 EDAR que més



disten de la relació lineal és suficient, ja que si extrèiem més dades no obtindríem un ajust real.

L'ajust que dóna una millor coeficient de regressió és l'equació potencial, tal i com s'observa a la figura 3.55. Malgrat que el coeficient de regressió que obtenim no és el més, és millor que el coeficient que obtenim amb la l'ajust amb una equació lineal.

$$R = 1,9837 \cdot q^{-0,142} (3)$$

On R és el ratio en  $\frac{kWh}{m^3}$

On q és el cabal tractat en  $\frac{m^3}{dia}$

Aquesta relació ens serà útil per aquelles EDAR que no coneguem l'energia consumida però si coneguem el cabal, per exemple a les EDAR que utilitzin la tècnica de Biodiscs, que apareixen en els apartats posteriors.

L'estació depuradora que menys consum energètic té és la de Sant Cornelli de Cercs, amb un consum de 62,99 kWh/dia, també és la que menys cabal tracta, l'EDAR més petita de les estacions que utilitzen fangs activats. Si comparem la que més consumeix, que és la més gran i la que menys consumeix, que és la més petita podem observar que realment l'estació més petita és la que més consumeix, en relació al cabal que tracta.

**Taula 3.33 Comparativa EDAR de Manresa i de Sant Cornelli de Cercs (Font: Pròpia)**

Lloc	Cabal (m <sup>3</sup> /dia)	Energia consumida (kWh/dia)
MANRESA	22.933	11.332,89
SANT CORNELLI DE CERCS	48,28	62,99

El cabal que tracta l'estació de Manresa és 475 vegades més gran que el cabal de l'estació de Sant Cornelli de Cercs, en canvi l'energia consumida per l'estació de Manresa és de 168 vegades més que l'estació de Sant Cornelli de Cercs. Amb aquesta informació demostrem que l'estació que més consumeix en relació al cabal és la més petita.

Ara compararem gràficament el consum energètic de les EDAR de cada comarca que utilitzen la tècnica de fangs activats del cas de estudi:

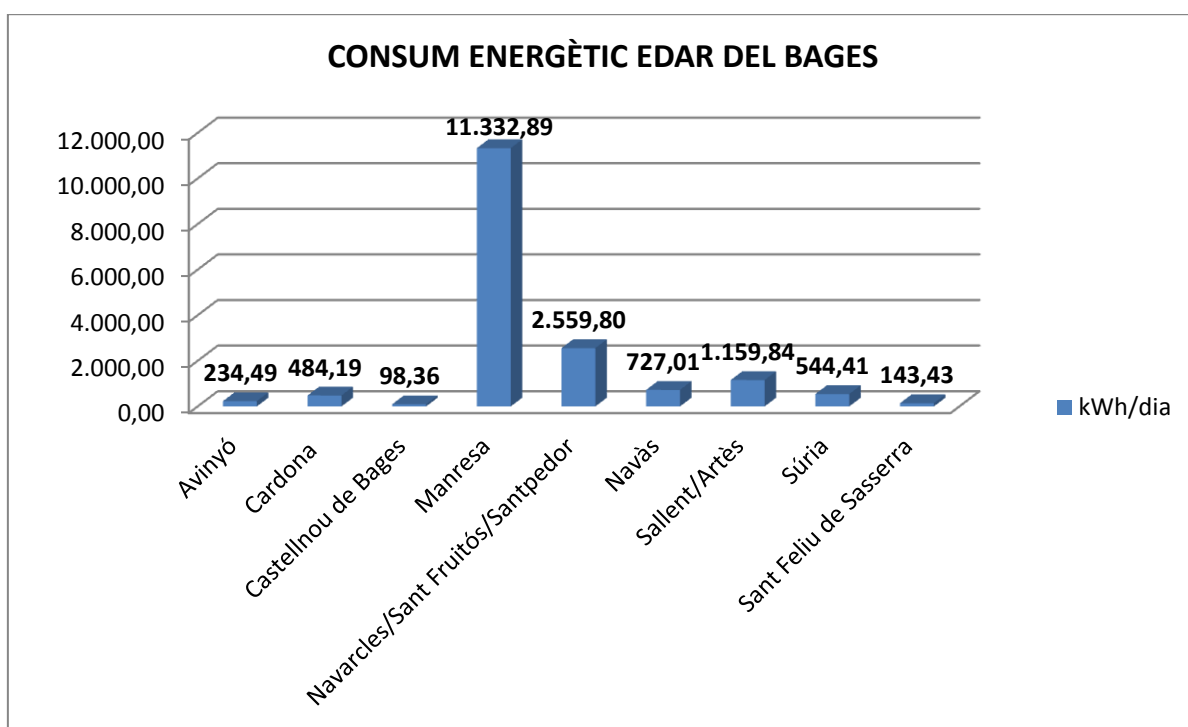


Figura 3.56 Consum energètic de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (Bages) (Font: Pròpia)

Tornem a confirmar a partir de la figura 3.56 que amb diferència és l'estació depuradora de Manresa la que més energia consumeix. Tot i el gran pic d'energia que suposa l'estació de Manresa, les altres EDAR del Bages es mantenen en valors relativament petits. La segona estació que més energia consumeix en el Bages, tal i com es mostra en el gràfic, és l'estació de Navarres/Sant Fruitós/Santpedor amb 2.559,80 kWh/dia.

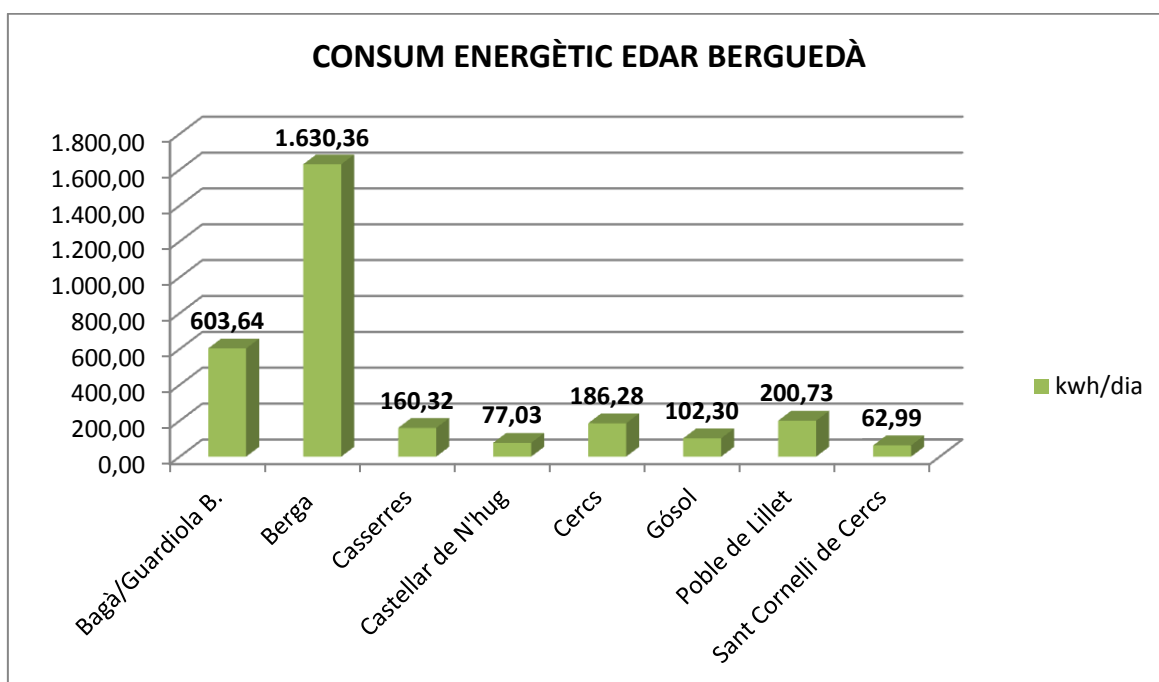


Figura 3.57 Consum energètic de les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (Berguedà) (Font: Pròpia)

Si observem el consum energètic de les estacions del Berguedà oscil·la entre 62,99 kWh/dia i 1.630,36 kWh/dia, el rang d'aquests consums és més reduït que el consum energètic que suposa les estacions del Bages, ja que l'estació de Berga que és la que més consumeix amb 1.630,36 kWh/dia que és similar a la tercera EDAR que més consumeix en el Bages, l'estació de Sallent/Artés amb 1.159,84 kWh/dia.

Com que aquestes dues EDAR de diferents comarques tenen valors d'energia consumida comparables, farem una taula amb més paràmetres d'aquestes dues EDAR:

**Taula 3.34 Comparativa de les EDAR de Berga i Sallent/Artés (Font :Pròpia)**

EDAR	Any de posada en marxa	Cabal Real (m <sup>3</sup> /dia)	Consum energètic Real (kWh/dia)	RATIO (kWh/m <sup>3</sup> )	MES disseny (mg/L)	N disseny (mg/L)	P disseny (mg/L)	DBO <sub>5</sub> Disseny (mg/L)	Població equivalent (h-e)	Tipus de tractament
BERGA	1995	4.438,09	1.630,36	0,37	300	48	10	300	41.500	Biològic
SALLEN/ARTÉS	1995	2.280	1.159,84	0,51	465	88	8	427	27.043	Biològic amb eliminació de Nitrogen i Fòsfor

El nombre d'habitants equivalents es calcula de la següent forma:

Dades de disseny:  $cabal = 8300 \frac{m^3}{dia}$ ,  $DBO_5 = 300 \frac{mg}{L}$

$$8300 \frac{m^3}{dia} \cdot \frac{10^3 L}{1 m^3} \cdot \frac{300 mg DBO_5}{L} \cdot \frac{1 g DBO_5}{10^3 mg DBO_5} \cdot \frac{1 hab - eq}{60 g DBO_5} = 41.500 hab - eq.$$

Tal i com es mostra a la taula anterior, aquestes dues estacions depuradores tenen consums energètics comparables, tot i que els cabals d'aigua tractada són força diferents. Berga tracta un cabal pràcticament el doble de gran que Sallent/Artés, conseqüentment, Berga correspon a a més població equivalent.

De les dues estacions depuradores comparades en la taula 3.34, l'estació de Berga és la més eficient, ja que tracta més cabal i consumeix el mateix que l'EDAR de Sallent/Artés que tracta un cabal molt inferior.

El tractament que utilitza Sallent/Artés és més complert que el que utilitza l'EDAR de Berga, ja que té inclòs en el seu tractament, l'eliminació de Nitrogen i Fòsfor que com s'ha dit abans consumeixen més energia.

A excepció de que Berga elimini una mica més de Fòsfor que Sallent/Artés, tots els altres paràmetres són favorables a l'estació de Sallent/Artés. Aquesta depuradora elimina més quantitat de MES, de DBO<sub>5</sub> i de Nitrogen.

A continuació mostrarem una taula que detalla el tipus de tractament que utilitza cadascuna de les EDAR per tal de tenir més dades per poder comparar-les.

Taula 3.35 Comparació dels tractaments utilitzats en les EDAR de Berga i Sallet/Artés (Font :ACA)

EDAR	Nº línies de pretractament	Espressiment	Deshidratació	Tractament secundari
<b>BERGA</b>	1	Gravetat	Filtre de banda	Fangs activats de mitja càrrega
<b>SALLENT/ARTÉS</b>	1	Gravetat	Centrífuga	Fangs activats de baixa càrrega

La diferència de tractament entre aquestes dues estacions depuradores és el tipus de deshidratació que utilitzen i el tipus de càrrega del tractament de fangs activats. Tal i com ens mostra la taula 3.35 i 3.34, hauriem de concloure que el tractament de Berga és més eficient energèticament, ja que en relació al cabal tractat consumeix menys energia. Fet que es pot veure en el ratio mostrat en la taula 3.34, Berga té un ratio de 0,37 kWh/m<sup>3</sup>, mentre que, Sallent/Artés té un ratio de 0,51 kWh/m<sup>3</sup>.

Per tant, si ens fixem amb les dades obtingudes podríem suposar que el tractament basat en deshidratació centrífuga i Fangs activats de baixa càrrega consumeix més energia que no pas, el tractament d'aigües residuals basat en una deshidratació mitjançant filtres de banda i fangs activats de mitja càrrega. Fet lògic, ja que per a la deshidratació mitjançant centrifugació suposa una elevada demanda d'energia elèctrica.

Per tant, per concloure aquesta comparació, podríem dir que l'estació de Sallent/Artés aconseguix una millor depuració de l'aigua residual però energèticament és menys eficient que l'estació de Berga i que això podria ser degut al tipus de tractament que utilitza.

A continuació es mostrarà un gràfic amb tots els consums energètics de les EDAR del cas d'estudi:

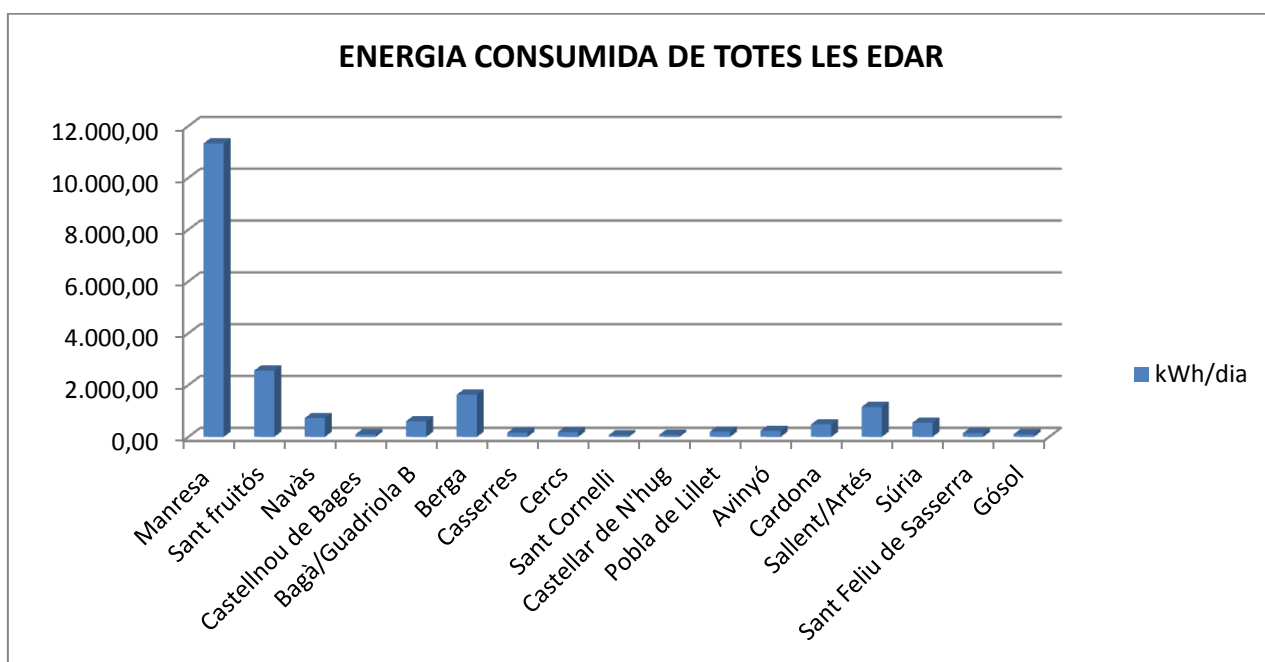


Figura 3.58 Energia consumida per totes les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (Font :Pròpia)

La figura 3.59 mostra el consum energètic real de totes les EDAR del cas d'estudi que utilitzen la tècnica de fangs activats. Observem que les EDAR del Bages tenen un consum energètic més elevat que les EDAR del Berguedà, també perquè les del Bages tracten més aigua. Les EDAR del Bages tracten un total de 33.116,00 m<sup>3</sup>/dia, i en canvi les EDAR del Berguedà tracten un cabal més reduït de 7.197,82 m<sup>3</sup>/dia, conseqüentment les EDAR del Bages tenen un consum més elevat.

Finalment realitzem una gràfica que contempli el cabal i l'energia consumida de totes les depuradores estudiades. Hem de recordar que l'EDAR que apareixen són aquelles que utilitzen fangs activats:

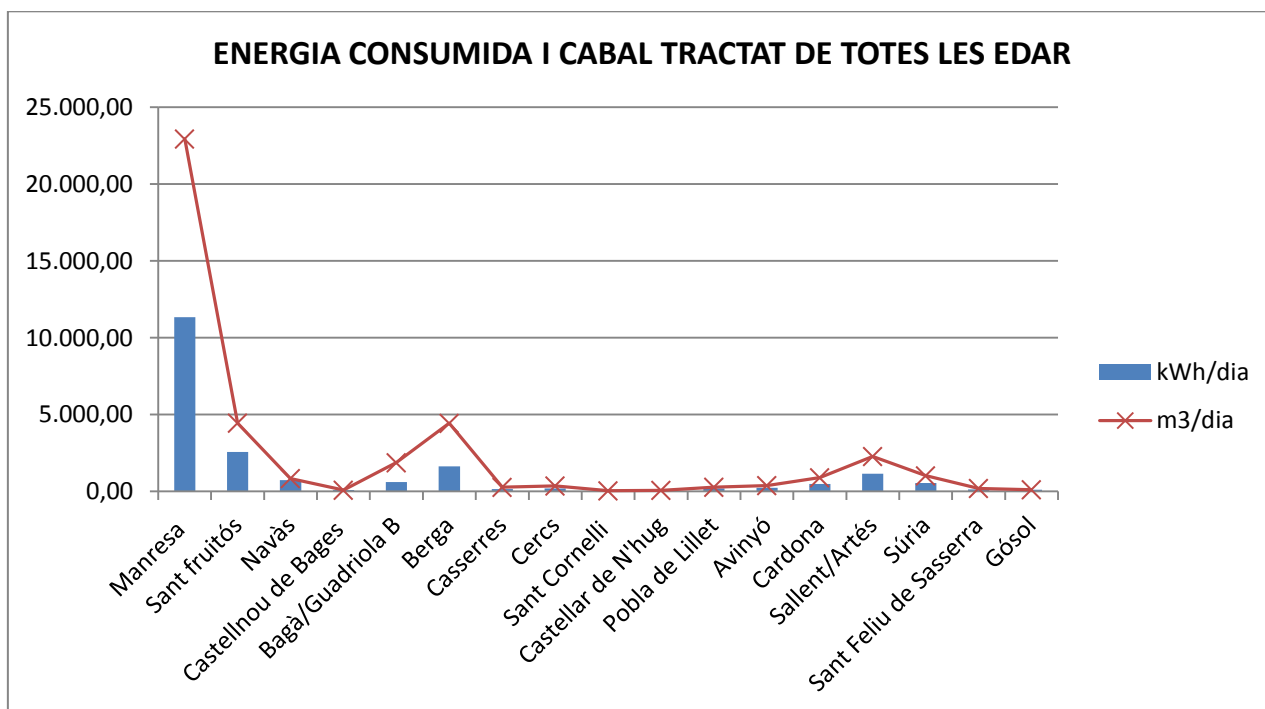


Figura 3.59 Energia consumida i cabal tractat per totes les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi  
(Font :pròpia)

Es pot veure clarament que hi ha un salt elevat entre l'energia consumida i el cabal tractat de l'estació de Manresa, el cabal és molt més gran que l'energia que es consumeix, això no passa en les altres depuradores, el salt entre el cabal i l'energia consumida és més petit o quasi inexistent. Per tant podem tornar a afirmar que l'energia consumida respecte el cabal tractat és menor en estacions depuradores que tracten cabals grans d'aigua residual.

A continuació fem un sumatori de l'energia real que consumeix i del cabal real que tracta cadascuna de les EDAR estudiades, això ens permetrà estimar l'energia que es consumeix en el tram del Llobregat del cas d'estudi per les EDAR que utilitzen el tractament de fangs activats.

Taula 3.36 Sumatori de cabal d'aigua tractada i energia consumida per les EDAR que utilitzen fangs activats del cas d'estudi. (Font:Pròpia)

Sumatori de cabal tractat i Energia REAL consumida per totes les EDAR que utilitzen tractament de Fangs Activats.		
$\sum$ Cabal (m <sup>3</sup> /dia)	$\sum$ Energia consumida (kWh/dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )
40.598,32	20.308,07	0,50

Per tant, les 17 EDAR que utilitzen el tractament de fangs activats consumeixen un total de 20.308,07 kWh/dia tractant un cabal total de 40.598,32 m<sup>3</sup>/dia. L'energia consumida d'aquelles EDAR que no teníem el valor real, l'hem calculat aplicant a cada depuradora la relació lineal (2) de la pàgina 152, que mitjançant el seu cabal ens proporcionava l'energia consumida de cadascuna de les depuradores. Aquelles EDAR que teníem les dades reals, no li hem aplicat aquesta relació lineal, sinó que aquestes dades reals les hem utilitzat per estudiar el comportament d'aquestes i el consum total d'energia.

El ratio que apareix en la taula 3.36 s'obté a partir de valor final del sumatori de cabal i energia de totes les EDAR estudiades, però també s'obté com a conseqüència de realitzar una mitja ponderada de totes les EDAR estudiades.

Aquestes dades de consum, a més de l'energia que consumeixen les depuradores que utilitzen tractament de biomassa fixada, ens permetrà saber el consum total que representa la depuració de l'aigua del riu Llobregat en el tram estudiat, per tal de comparar-lo amb l'energia produïda en el mateix tram.

### 3.3.6 Energia consumida per EDAR que utilitzen la tècnica de filtres percoladors

En l'apartat anterior, hem pogut observar el consum energètic de les EDAR que utilitzaven fangs activats, a continuació mostrarem les dades de consum energètic de les EDAR que utilitzen la tècnica de filtres percoladors.

Del total de les EDAR estudiades, únicament tres estacions depuradores utilitzen la tècnica de filtres percoladors, l'estació depuradora de Gironella, la de Balsareny i l'estació depuradora de Puig Reig.

Hem obtingut dades del consum energètic de cada mes de les estacions de Gironella i la de Puig Reig:

**Taula 3.37 Dades de consum energètic mensual de les EDAR de Gironella i Puig Reig a l'any 2015**  
(Font: Consell Comarcal del Berguedà)

DADES DE CONSUM ENERGÈTIC MENSUAL DE L'ANY 2015		
Mesos	GIRONELLA Consum energètic (KWh/mes)	PUIG REIG Consum energètic (KWh/mes)
Gener	17.138	12.365
Febrer	15.299	10.819
Març	17.008	11.391
Abril	16.378	9.146
Maig	15.752	9.425
Juny	13.861	9.573
Juliol	14.941	9.993
Agost	14.593	10.447
Setembre	14.247	10.304
Octubre	15.461	10.953
Novembre	15.204	11.421
Desembre	15.609	12.533

Taula 3.38 Consum energètic anual de les EDAR de Gironella i Puig Reig (Font: Consell Comarcal del Berguedà)

	Consum energètic anual (any 2015) kWh/any
<b>Gironella</b>	185.491
<b>Puig Reig</b>	128.370

Durant l'any 2015 l'estació EDAR de Gironella ha consumit els 185.491 kWh/any i l'estació depuradora de Puig Reig ha consumit 128.370 kWh/any.

A continuació mostrem una taula on queda reflectida l'energia consumida, el ratio i el cabal consumit diari de cada una de les dues depuradores.

Taula 3.39 Dades de les EDAR de Gironella i Puig Reig (Font: Pròpia)

Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal real (m <sup>3</sup> /dia)	Ratio (KWh/m <sup>3</sup> )	Consum energètic real (KWh/dia)
<b>GIRONELLA</b>	Filtres Percoladors	886,88	0,57	<b>508,19</b>
<b>PUIG REIG</b>	Filtres Percoladors	599,88	0,59	<b>351,70</b>

En la taula 3.39 es mostra que ambdues estacions depuradores tenen ratios comparables, tot i que els cabals no són similars. Tot i això si que podem observar la mateixa tendència que les EDAR que tracten l'aigua amb fangs activats, que el ratio disminueix quan es tractava més cabal d'aigua.

Les dades sobre l'EDAR de Balsareny ens les han proporcionat l'Agència Catalana d'Aigua (ACA) i es mostren a continuació:

Taula 3.40 Dades de l'EDAR de Balsareny (Font: ACA)

EDAR	Cabal Disseny (m <sup>3</sup> /dia)	Potència instal·lada (kW)	Potència Contractada (kW)
<b>BALSARENY</b>	<b>1.500</b>	<b>48,15</b>	<b>153</b>

L'ACA ens proporciona el cabal de disseny de l'EDAR, la seva potència instal·lada, la potència contractada. Recordem que les EDAR no treballen al 100% de la seva capacitat, per tant, calcularem el cabal real de l'EDAR com al 60% del cabal de disseny.

La potència instal·lada és la potència que necessita la planta per poder realitzar les seves funcions en òptimes condicions.

La potència contractada de la instal·lació sempre ha de ser més gran que la potència instal·lada, ja que si l'EDAR necessita en algun moment més energia pugui obtenir-la.

No hi ha forma de saber la quantitat de potència que necessita l'EDAR en cada moment, únicament sabem la potència màxima que l'EDAR pot arribar a necessitar. Per tant, podem saber l'energia que pot consumir l'EDAR suposant que consumeix durant les 24h la potència màxima d'energia.

A continuació mostrem la taula amb totes les aproximacions de l'EDAR de Balsareny:

**Taula 3.41 Dades de l'EDAR de Balsareny (Font:Pròpia)**

<b>EDAR</b>	<b>Cabal Disseny (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Cabal real (m<sup>3</sup>/dia) [Cabal real=60% Cabal disseny]</b>	<b>Potència instal·lada (kW)</b>	<b>Energia màxima consumida (kWh/dia)</b>	<b>Energia màxima consumida (kWh/mes)</b>
<b>BALSARENY</b>	<b>1.500</b>	<b>900</b>	<b>48,15</b>	<b>1.155,6</b>	<b>34.668</b>

Calculem l'energia consumida a partir d'aquesta equació:

$$E = P \cdot t \quad (3)$$

On E és l'energia en kWh

On P és la potència en kW

On t és el temps en h

Per tant, els 1.155,6 kWh/dia o els 34.668kWh/mes és l'energia màxima que l'EDAR de Balsareny pot necessitar, però sabem que l'energia real que l'EDAR consumeix és inferior a aquest valor.

Considerem que el l'estimació de l'energia consumida de l'EDAR de Balsareny a partir de la potència màxima és difícil, ja que, no sabem realment a quin % de capacitat de la potència instal·lada treballa aquesta EDAR, per tant, considerem més factible comparar aquesta EDAR amb l'EDAR de Gironella.

Com que el cabal d'aigua tractat per Balsareny és similar al cabal tractat d'aigua de Gironella considerem que seria una bona estimació dir que Balsareny té el mateix ratio que Gironella, per tant, calculem l'energia consumida de Balsareny considerant que el seu ratio és 0,57 kWh/m<sup>3</sup>.



Finalment mostrem una taula amb les dades finals de les EDAR de Filtres percoladors:

**Taula 3.42 Resum de dades de les EDAR del cas d'estudi que utilitzen la tècnica de filtres percoladors**  
(Font: Pròpia)

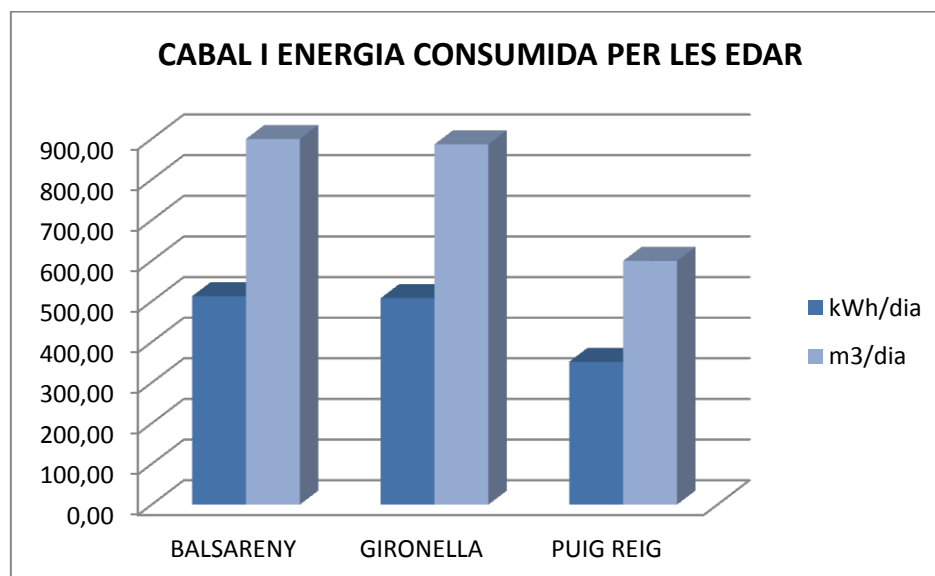
Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal real (m <sup>3</sup> /dia)	Ratio (KWh/m <sup>3</sup> )	Consum energètic real (KWh/dia)
<b>BALSARENY</b>	Filtres Percoladors	900	0,57	<b>513</b>
<b>GIRONELLA</b>	Filtres Percoladors	886,88	0,57	<b>508,19</b>
<b>PUIG REIG</b>	Filtres Percoladors	599,88	0,59	<b>351,70</b>

En la taula 3.42 es mostren els consums energètics, cabals reals i ratios de cada EDAR. Com es pot observar Gironella i Puig Reig, que són les EDAR les quals tenim dades real, tenen ratios comparables.

Hem de ser conscients que d'EDAR de filtres percoladors només tenim tres EDAR, per tant, és difícil estudiar una tendència quan únicament tenim tres EDAR que estudiar.

Basant-nos en les dades obtingudes, podem observar que els ratios de les EDAR de filtres percoladors, no disten gaire dels ratios de les EDAR de fangs activats.

A continuació es mostra un gràfic on es representa l'energia consumida i el cabal tractat de cadascuna de les depuradores que utilitzen la tècnica de filtres percoladors, mostrada en la taula 3.42.



**Figura 3.60 Cabal i Energia consumida per les EDAR del cas d'estudi que utilitzen filtres percoladors** (Font : Pròpia)

L'estació de Gironella tracta un cabal superior al cabal tractat per l'estació depuradora de Puig Reig i Balsareny, i conseqüentment aquesta última té un consum energètic inferior. Podem observar que per la quantitat de cabal d'aigua que tracta cada una de les estacions depuradores, no tenen un elevat consum d'energia, això queda millor reflectit pel valor del ratio.

La relació entre el cabal tractat i l'energia consumida es pot observar en els ratios. Tant Gironella com Puig Reig com Balsareny, tenen un ratio aproximat de  $0,6 \text{ kWh/m}^3$ .

Si comparem les tres EDAR podem veure com Gironella, Puig Reig i Balsareny segueixen un comportament similar de consum energètic respecte el cabal.

Per comparar el consum energètic de les EDAR que utilitzen fangs activats i les que utilitzen filtres percoladors, realitzarem una taula on es compararan els ratios de cada EDAR. Per aquesta comparació, només hem tingut en comptes les EDAR de Gironella i Puig Reig.

En la taula 3.43 que apareix a continuació, apareixen les dues EDAR que utilitzen la tècnica de filtres percoladors i aquelles EDAR que utilitzen fangs activats i que tenen cabals comparables als cabals de les estacions que utilitzen les tècniques de percoladors.

Malgrat que tenim una gran quantitat d'EDAR que utilitzen fangs activats, només agafem les que tenen cabals similars a les EDAR de Gironella i de Puig Reig, ja que el ratio disminueix quan la depuradora tracta més cabal, per tant, per fer una bona comparativa només comparem algunes de les EDAR.

**Taula 3.43 Comparativa entre algunes EDAR segons el tractament secundari que utilitzin ( Font: Pròpia)**

Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )	Ratio ( $\text{kWh/m}^3$ )
Avinyó	Fangs activats	520	0,57
Navàs	Fangs activats	847	0,54
Gironella	Filtres Percoladors	886,88	0,57
Puig Reig	Filtres Percoladors	599,88	0,59

Tal i com es veu a la taula 3.43, Avinyó tractant un cabal inferior a Gironella té el mateix ratio. Malgrat això, Avinyó té un ratio més petit que Puig Reig, tractant un cabal comparable. Navàs té un ratio més petit que Gironella tractant un cabal d'aigua similar.

Finalment, podem concloure que la nostra previsió basada en que les EDAR de fangs activats haurien de consumir més energia que les de filtres percoladors no és certa en les EDAR estudiades, ja que observant la taula 3.43 s'observa que per a cabals similars, les EDAR de fangs activats i les EDAR de filtres percoladors tenen consums energètics comparables.

Finalment es farà el sumatori de l'energia que consumeix les EDAR que utilitzen filtres percoladors.

**Taula 3.44 Sumatori d'energia consumida i cabal d'aigua tractada per les EDAR del cas d'estudi que utilitzen la tècnica de filtres percoladors (Font: Pròpia)**

<b>Sumatori d'energia consumida i cabal d'aigua tractada per totes les EDAR que utilitzen tractament de Filtres percoladors.</b>		
$\sum \text{Caball}$ (m <sup>3</sup> /dia)	$\sum \text{Energia consumida}$ (kWh/dia)	<i>Ratio</i> (kWh/m <sup>3</sup> )
<b>2.386,76</b>	<b>1.372,89</b>	<b>0,575</b>

En la taula 3.44 es mostra que per un cabal tractat de 2.386,76 m<sup>3</sup>/dia es consumeixen un total de 1.372,89 kWh/dia, aquest consum s'haurà de sumar al consum de les altres depuradores per tal de saber el consum total d'energia de les estacions depuradores del tram d'estudi.

El ratio de 0,575 kWh/m<sup>3</sup> és conseqüent de la divisió entre l'energia consumida total i el cabal tractat total, però també es pot obtenir a partir de la mitja ponderada de les tres depuradores.

Si comparem aquest ratio amb el ratio de les EDAR de fangs activats, que és 0,50kWh/m<sup>3</sup> podem veure que aquest és inferior al ratio dels filtres percoladors. Però hem de tenir en compte que les EDAR dels filtres percoladors treballen amb cabals més petits que les EDAR de fangs activats, i conseqüentment, provoca que el consum energètic sigui major.

Hem de tenir en compte que en la taula 3.44 s'han contemplat les tres EDAR tot i que sabem que l'EDAR de Balsareny té un cert error que desconeixem.

### 3.3.7 Energia consumida per EDAR que utilitzen la tècnica de biodisc

Finalment, només ens queda estudiar les EDAR que utilitzin la tècnica de Biodisc. De les EDAR del nostre estudi només hi ha dues que utilitzin la tècnica de Biodisc, aquesta tècnica està dins del grup de tractaments de biomassa fixada, juntament amb els filtres percoladors.

Les dues tècniques de biomassa fixada tenen consum energètics comparables.

Atès que no es disposa de dades del consum real d'energia de les EDAR que utilitzen la tècnica de biodisc, podríem realitzar una estimació de l'energia consumida per a cadascuna de les depuradores a partir del ratio mig obtingut per les dades reals de les estacions depuradores que utilitzen la tècnica de filtres percoladors, ja que com hem dit anteriorment, el consum d'aquestes dues tècniques és comparable. Però aquesta estimació no seria la correcta ja que només hem disposat de dades de dues EDAR de filtres percoladors, i les dues tenen cabals d'aigua molt més grans que els cabals de les dues EDAR de Biodisc.

De manera que, si féssim l'estimació a partir del ratio de 0,58, que és el ratio mig de les EDAR de filtres percoladors, estaríem suposant un consum energètic menor al que tenen aquestes depuradores, ja que, la tendència del ratio és augmentar quan el cabal és més petit.

Per tant, la millor opció per estimar el consum energètic d'aquestes dues EDAR és calcular el ratio a partir de la relació (3), pàgina 160, que tot i que és una relació trobada a partir de les

EDAR de fangs activats creiem que s'ajustaria més a la realitat que no pas utilitzant el ratio mig de les EDAR de filtres percoladors.

D'aquestes dues EDAR tampoc es disposen de les dades del cabal d'aigua real que tracten, conseqüentment, farem una estimació a partir de la capacitat mitjana de les EDAR estudiades, de manera que es calcularà el cabal real com al 60% del cabal de disseny.

A continuació es mostra la taula on queda reflectit les dades de ambdues depuradores:

**Taula 3.45 Dades de cabal tractat les EDAR de Montmajor i Nou Berguedà (Font:Pròpia)**

Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal disseny (m <sup>3</sup> /dia)	Cabal estimat [Cabal real=60%cabal disseny] (m <sup>3</sup> /dia)
<b>MONTMAJOR</b>	Biodisc	32	19,2
<b>LA NOU BERGUEDÀ</b>	Biodisc	80	48

A partir del cabal real que trobem, podem aplicar la relació (3), trobada a la pàgina 160, i trobar el ratio de cadascuna de les depuradores, i a partir d'aquest trobar l'energia consumida:

**Taula 3.46 Dades de consum energètic de les EDAR calculat amb la relació(3) (Font:Pròpia)**

Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal estimat [Cabal real=60% cabal disseny] (m <sup>3</sup> /dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )	Energia consumida estimada (kWh/dia)
<b>MONTMAJOR</b>	Biodisc	19,2	1,30	25,04
<b>LA NOU BERGUEDÀ</b>	Biodisc	48	1,14	54,95

Com que la relació (3) no té un bon coeficient de regressió, podem calcular la relació (2), trobada a la pàgina 152, de la qual a partir del cabal real de les EDAR podrem extreure directament, el consum energètic.

**Taula 3.47 Dades de consum enegètic de les EDAR calculat amb la relació (2) (Font:Pròpia)**

Depuradora	Tipus tractament secundari	Cabal estimat [Cabalreal=60%cabaldisseny] (m <sup>3</sup> /dia)	Energia consumida estimada (kWh/dia)	Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )
<b>MONTMAJOR</b>	Biodisc	19,2	52,95	2,76
<b>LA NOU BERGUEDÀ</b>	Biodisc	48	67,05	1,40

Els consums energètics que trobem a partir de la relació lineal (2) creiem que s'ajusten més a la realitat, ja que segons la tendència estudiada sobre la relació ratio-cabal, amb aquest cabals tant petits els ratio hauria de ser, conseqüentment, molt elevat i amb la relació (2) trobem aquests valors elevats que esperàvem dels ratios. A més que la relació (2) tot i ser extreta a partir de les dades dels fangs activats té un coeficient de regressió més elevat que l'equació (3).

Per tant, per totes aquestes raons considerem que les dades de consum energètic que es podrien ajustar més a la realitat són les que obtenim a partir de la relació (2)

A continuació mostrarem gràficament les dades de la taula 3.47:

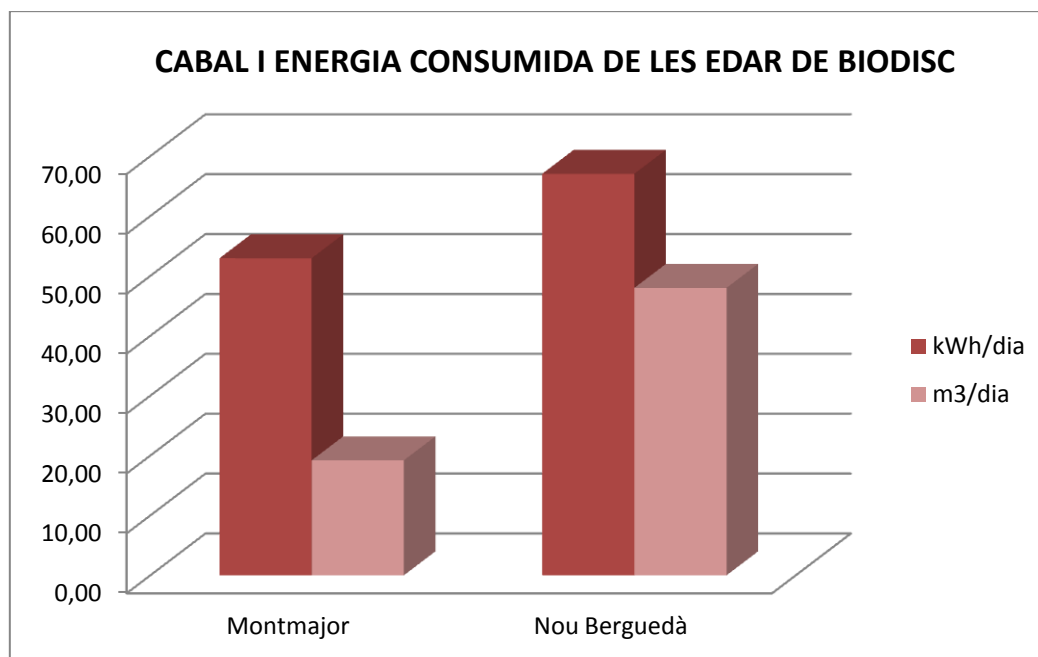


Figura 3.61 Cabal i energia consumida de les EDAR que utilitzen la tècnica de Biodisc del cas d'estudi (Font: Pròpia)

Tal i com es pot veure en la figura 3.61, aquestes EDAR tenen un valor més elevat d'energia consumida que no pas de cabal tractat. Com a conseqüència del seu petit cabal tenen un ratio molt elevat. Montmajor té un ratio de  $2,76 \text{ kWh/m}^3$ , per tant per cada  $\text{m}^3$  d'aigua que tracta consumeix vora 3 vegades més d'energia. Tal i com s'observa en el gràfic, la columna de l'energia consumida pràcticament tres vegades més gran que el cabal que tracta.

La mateixa tendència segueix l'EDAR del Nou Berguedà, la columna d'energia consumida del gràfic 3.47 és quasi 1,5 vegades més gran que la columna del cabal que tracta.

A continuació fem el sumatori de l'aigua tractada i l'energia consumida de les EDAR que utilitzen la tècnica de Biodisc.

Taula 3.48 Sumatori de cabal tractat i energia consumida per les EDAR que utilitzen la tècnica del Biodisc del cas d'estudi (Font: Pròpia)

Sumatori de cabal tractat i Energia consumida per totes les EDAR que utilitzen tractament de Biodisc		
$\sum \text{Cabal}$ ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )	$\sum \text{Energia consumida}$ ( $\text{kWh}/\text{dia}$ )	Ratio ( $\text{kWh}/\text{dia}$ )
67,20	120	2,08

Com observem en la taula anterior, taula 3.48, el cabal tractat per les dues depuradores és molt petit, i el consum energètic és pràcticament menyspreable. També cal esmentar que el ratio és elevat, ja que com hem comentat anteriorment, els cabals són molt petits.

### 3.3.8 Energia total consumida per les EDAR del cas d'estudi

Finalment fem el sumatori global del consum dels tres grups de depuradores que trobem al tram d'estudi del Llobregat per tal de saber el consum final d'energia de les EDAR estudiades.

**Taula 3.49 Sumatori de cabal tractat i energia consumida de totes les EDAR del cas d'estudi (Font: Pròpia)**

<b>SUMATORI DE CABAL TRACTAT I ENERGIA CONSUMIDA DE TOTES LES EDAR DEL CAS D'ESTUDI.</b>		
$\sum \text{Cabal}$ (m <sup>3</sup> /dia)	$\sum \text{Energia consumida}$ (kWh/dia)	<i>Ratio</i> (kWh/dia)
<b>43.052,28</b>	<b>21.800,96</b>	<b>0,506</b>

La taula 3.49 ens mostra que les EDAR estudiades del tram del Llobregat del cas d'estudi, en aquest tram, amb un total de 22 EDAR estudiades obtenim que aquestes consumeixen 21.800,96 kWh/dia, per tractar un total de 43.052,28 m<sup>3</sup> d'aigua residual/dia.

Observem que el valor de 21.800,96 kWh diaris és un valor d'energia consumida per tenir en compte, ja que no és una petita quantitat d'energia. Aquest valor el compararem amb l'energia que genera el riu Llobregat en el mateix tram, per tal de saber, si és major l'energia consumida per a la depuració de l'aigua o l'energia generada per la mateixa aigua.

### 3.3.9 Capacitat de les EDAR del cas d'estudi

Tot i que les EDAR consumeixen una gran quantitat d'energia, aquestes no treballen al seu màxim de capacitat i conseqüentment, no consumeixen el màxim d'energia que poden consumir.

Per saber el % de capacitat referit a la potència, haurem de comparar les dades de potència de cada EDAR proporcionades per l'ACA amb les dades de consum energètic proporcionades per el Consell Comarcal de Berguedà.

Hem vist convenient, calcular-ho tot mensualment, per tal d'ajustar-nos millor a la realitat, ja que el Consell Comarcal del Berguedà ens va proporcionar el consum mensual durant un any de cada EDAR. Per tal de saber el consum mensual de cada EDAR prèviament hem fet una mitjana ponderada.

A continuació, en la taula 3.50, es mostra el consum energètic mensual promig de cada EDAR, aquest consum ha sigut calculat amb una mitja ponderada.

**Taula 3.50 Dades de consum energètic mensual reals de les EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats del cas d'estudi (Font: Consell Comarcal del Berguedà)**

DADES DE CONSUM ENERGÈTIC REALS	
	Consum energètic real promig (kWh/mes)
<b>GUARDIOLA/BAGÀ B.</b>	18.452,89
<b>BERGA</b>	50.232,08
<b>PUIG REIG</b>	10.800,63
<b>CASSERRES</b>	4.999,27
<b>CERCS</b>	5.777,34
<b>CASTELLAR DE N'HUG</b>	2.384,30
<b>GIRONELLA</b>	15.528,52

**Taula 3.51 Dades de consum energètic mensual calculat a partir de la potència instal·lada de les EDAR que utilitzen la tècnica de fangs activats del cas d'estudi (Font: ACA)**

DADES DE CONSUM ENERGÈTIC EN BASE A LA POTÈNCIA INSTAL·LADA			
	Potència instal·lada (kW)	Consum energètic diari (kWh/dia)	Consum energètic mensual màxim (kWh/mes)
<b>GUARDIOLA/BAGÀ B.</b>	79,4	1.905,60	57.168
<b>BERGA</b>	262	6.288	188.640
<b>PUIG REIG</b>	58	1.392	41760
<b>CASSERRES</b>	36	864	25.920
<b>CERCS</b>	50	1.200	36.000
<b>CASTELLAR DE N'HUG</b>	50	1.200	36.000
<b>GIRONELLA</b>	84,5	2.028	60.840

De la taula anterior, taula 3.51, la potència instal·lada és la dada que ens proporciona l'ACA. El consum energètic l'aconseguim multiplicant la potència instal·lada per 24h i la mensual, multiplicant a més de per 24h també per 30 dies, seguint la formula (3).

Les dades del Consell Comarcal del Berguedà, mostrades en la taula 3.50, són dades de consum reals de les EDAR, en canvi, les dades proporcionades per l'ACA són el consum màxim que l'EDAR pot arribar a tenir, per tant, si comparem aquests dos grups de dades, podrem saber a la capacitat que treballen les EDAR.

**Taula 3.52 Comparació de consum energètic real i consum energètic calculat a partir de la potència instal·lada i càlcul de la capacitat (Font: Pròpia)**

DADES DE CONSUM ENERGÈTIC			
	Consum energètic mensual màxim (kWh/mes)	Consum energètic real promig (kWh/mes)	%CAPACITAT
<b>GUARDIOLA/BAGÀ B.</b>	57.168	18.452,89	32,28
<b>BERGA</b>	188.640	50.232,08	26,63
<b>PUIG REIG</b>	41.760	10.800,63	25,86
<b>CASSERRES</b>	25.920	4.999,27	19,29
<b>CERCS</b>	36.000	5.777,34	16,03
<b>CASTELLAR DE N'HUG</b>	36.000	2.384,30	6,62
<b>GIRONELLA</b>	60.840	15.528,52	25,51

Observem que, el % de capacitat hi ha valors distants, per tant, considerem que la millor opció per saber un valor real de % de capacitat respecte la potència instal·lada és realitzar una mitja ponderada.

El valor d'aquesta mitja ponderada és 24,24%, per tant, les EDAR únicament consumeixen un 24% de l'energia màxima que podrien consumir.

Coneixent aquest valor estimarem l'energia màxima que les EDAR estudiades podrien arribar a consumir si treballessin al seu màxim de capacitat.

El valor de l'energia consumida real pertany al 24,24% de la potència instal·lada de les EDAR, per tant, calcularem el valor d'energia considerant que les EDAR treballen al 100% de la seva potència.



**Taula 3.53 Comparativa de l'energia màxima i l'energia real de les EDAR del Berguedà que utilitzen fangs activats del cas d'estudi (Font: Pròpia)**

Comparació de l'energia real i l'energia màxima que pot arribar a consumir les EDAR del cas d'estudi.	
$\sum$ <i>Energia consumida real</i> (kWh/dia)	$\sum$ <i>Energia màxima consumida</i> (kWh/dia)
21.800,96	89.950,32

Per tant, podem observar que les EDAR del cas d'estudi poden arribar a consumir molta més energia si treballessin al seu màxim de capacitat.

### 3.4 Estacions d'aigua potable

En el cas d'estudi hi ha diverses estacions potabilitzadores. A la taula 3.54, s'indiquen el conjunt d'estacions potabilitzadores que entren en el cas d'estudi. Aquesta informació, l'hem aconseguit a partir d'un llistat proporcionat per l'ACA, aquest no estava complert, conseqüentment, hem hagut de fer cerca de diferents poblacions per comprovar si aquestes tenen instal·lades estacions potabilitzadores. Amb ambdues fonts d'informació hem realitzat la taula següent:

Taula 3.54 Llistat de les ETAP del cas d'estudi (Font: ACA)

ETAP DEL CAS D'ESTUDI		
COMARCA	POBLACIÓ	ETAP
BAGES	BALSARENY	ETAP Balsareny
	CARDONA	ETAP de Cardona
	MANRESA	ETAP Manresa
	NAVARCLES	ETAP de Navarcles
	NAVÀS	ETAP de Navàs
	SALLENT	ETAP Sallent
BERGUEDÀ	AVIÀ	ETAP Avià ETAP Dipòsit Nou
	CASTELLAR DE N'HUG	ETAP Castellar de N'hug
	CASSERRES	ETAP Cal Ventura
	BAGÀ/GUARDIOLA DE B.	ETAP Guardiola de B.
	LA POBLA DE LILLET	ETAP La Pobla de Lillet
	LA NOU DE BERGUEDÀ	ETAP La Nou Berguedà
	BORREDÀ	ETAP Borredà
	CERCS	ETAP Cercs
	BERGA	ETAP del Dipòsit del Castell
	CAPOLAT	ETAP Capolat
	GIRONELLA	ETAP Gironella
	MONTMAJOR	ETAP de Montmajor
	PUIG REIG	ETAP de Cal Prat ETAP de Cal Vidal

Com podem veure en la taula 3.54 hi ha un total de 19 poblacions que contenen una o dos ETAP. Per exemple, Puig Reig i Avià tenen instal·lades dues ETAP.

Ha estat impossible trobar les dades de totes les ETAP però si que hem pogut aconseguir diverses dades sobre algunes d'aquestes estacions potabilitzadores que mostrarem i comentarem a continuació.

#### 3.4.1 Consum energètic de les ETAP

Pel que fa referència al consum energètic de les ETAP, aquest es degut a:

1. Bombament de la captació d'aigua, des de el riu, rieres o fonts fins a la estació de tractament d'aigua potable.

2. Bombament de l'aigua cap a l'usuari.
3. Rentat de filtres.

Tot i que hi ha tres causes del consum energètic hem de remarcar que el principal causant del consum energètic de les ETAP és el bombament des de la font fins l'estació potabilitzadora i des d'aquesta fins a l'usuari. Per tant, el consum energètic depèn de la zona on estigui situada l'estació potabilitzadora.

Com hem comentat anteriorment, hem tingut certa dificultat a trobar dades sobre les ETAP. Malgrat això, hem aconseguit informació sobre 6 ETAP del cas d'estudi.

Considerem que tot i que no hem aconseguit trobar les dades de totes les estacions potabilitzadores, les dades aconseguides seran útils per a estudiar el comportament de consum energètic de les estacions potabilitzadores, per tal de veure si segueixen alguna tendència respecte el cabal tractat o si consumeixen més o menys que les estacions depuradores.

El que hem pogut aconseguir és el conjunt de dades detallades de consum energètic de les ETAP de les poblacions: La Nou Berguedà, Capolat i Borredà, de l'any 2015. Aquestes dades de consum estan mostrades a continuació en les taules 3.55, 3.56 i 3.57, on es pot veure que el consum energètic depèn del recorregut de l'aigua, això es degut a que segons la dificultat del recorregut de l'aigua, o sigui del desnivell o de la irregularitat d'aquest, serà necessària més energia o menys per bombar aquesta aigua. Fent el sumatori del consum energètic de cada trajecte especificat aconseguirem el consum total de l'estació depuradora degut al bombament de l'aigua, per tant d'aquestes tres estacions potabilitzadores obtenim el consum real degut al bombament de l'aigua.

Les dades d'aquestes tres ETAP (Nou Berguedà, Capolat i Borredà) han sigut proporcionades pel Consell Comarcal del Berguedà. D'altra banda, Sorea ens ha facilitat el consum energètic de tres estacions potabilitzadores més: Berga, Balsareny i Sallent. Per aquestes tres últimes estacions potabilitzadores només tenim el valor final d'energia consumida.

A continuació es mostren el conjunt de dades mencionades:

Taula 3.55 Dades de consum energètic real de l'ETAP de La Nou Berguedà ( Font : Consell Comarcal Berguedà)

CONSUM ENERGÈTIC DE L'ETAP DE LA NOU DE BERGUEDÀ				
Afores de la Captació de la Nou	Data des de	Data fins a	Consum total d'energia (kWh)	
	18/12/2014	20/02/2015	1	
	20/02/2015	17/04/2015	4	
	30/05/2015	22/06/2015	0	
	22/06/2015	18/08/2015	149	
	18/08/2015	16/10/2015	57	
	16/10/2015	21/12/2015	74	
<b>LLOC MALANYEU-BOMBEIG DE MOTOR.</b>			Consum en el període Punta (kWh)	Consum en el període Vall (kWh)
	18/12/2014	21/01/2015	629	866
	21/01/2015	20/02/2015	616	887
	20/02/2015	17/03/2015	401	579
	17/03/2015	17/04/2015	452	619
	17/04/2015	19/05/2015	445	587
	19/05/2015	22/06/2015	476	637
	22/06/2015	15/07/2015	314	420
	15/07/2015	18/08/2015	500	680
	18/08/2015	24/09/2015	538	735
	24/09/2015	20/10/2015	385	499
	20/10/2015	17/11/2015	425	564
	17/11/2015	17/12/2015	503	701
<b>CAMÍ MALANYEU BOMBEIG DE MOTOR AIGUA.</b>			Consum en el període Punta (kWh)	Consum en el període Vall (kWh)
	18/12/2014	21/01/2015	1.097	1.500
	21/01/2015	20/02/2015	949	1.350
	20/02/2015	17/03/2015	796	1.086
	17/03/2015	17/04/2015	1.041	1.401
	17/04/2015	19/05/2015	1.108	1.442
	19/05/2015	22/06/2015	1.173	1.535
	22/06/2015	15/07/2015	897	1.117
	15/07/2015	18/08/2015	1.260	1.580
	18/08/2015	24/09/2015	1.306	1.660
	14/09/2015	20/10/2015	795	1.068
	02/10/2015	17/11/2015	864	1.182
	17/11/2015	17/12/2015	900	1.250
			$\sum \text{Consum energètic} = 42.100 \text{ kWh/any}$	

Taula 3.56 Dades de consum energètic real de l'ETAP de Capolat (Font : Consell Comarcal Berguedà)

CONSUM ENERGÈTIC DE L'ETAP DE CAPOLAT			
CAPOLAT, JUNT- RECTORIA- BOMBAEIG DE MOTOR	Data des de	Data fins a	Consum total d'energia (kWh)
	08/01/2015	09/03/2015	1.028
	09/03/2015	09/05/2015	1.045
	09/05/2015	09/07/2015	1.048
	09/07/2015	08/09/2015	2.828
	08/09/2015	12/11/2015	885
$\sum$ Consum energètic = 6.834 kWh/any			

Taula 3.57 Dades de consum energètic real de l'ETAP de Borredà (Font: Consell Comarcal Berguedà)

CONSUM ENERGÈTIC DE L'ETAP DE BORREDÀ			
CRTRA. RIPOLL - BOMBEIG MOT,CNO. RIBERA	Data des de	Data fins a	Consum total d'energia (kWh)
	29/12/2014	26/02/2015	2.914
	26/02/2015	23/04/2015	0
	23/04/2015	26/06/2015	3.161
	26/06/2015	20/08/2015	2.716
	20/08/2015	21/10/2015	3.019
$\sum$ Consum energètic = 11.810 kWh/any			

De les ETAP mostrades a les taules 3.56, 3.55, no es coneixen el cabal d'aigua que tracten, únicament es coneix el cabal real de l'estació potabilitzadora de Borredà (taula 3.57), aquesta tracta un cabal de 122.640 m<sup>3</sup>/any (46).

Amb les altres ETAP que no es coneix el cabal el que farem és una aproximació a partir del consum diari per habitant d'aigua potable a Catalunya, aquest consum és 126 L/habitant·dia que és el mateix que 0,126 m<sup>3</sup>/habitant·dia (47).

Utilitzant aquest coeficient i coneixent els habitants podrem calcular la demanda d'aigua potable que hi ha en cada població, i aquesta es la que hauria d'abastir l'estació potabilitzadora, per tant suposem que la demanda és igual al cabal de la potabilitzadora més un 10%. Aquest 10% és perquè totes les potabilitzadores capten un 10% més d'aigua ja que aquest d'aigua es perd en el procés de desinfecció de l'aigua.

Taula 3.58 Estimació de cabal tractat per les ETAP les quals no coneixem el seu cabal real (Font :Pròpia)

ESTIMACIÓ DEL CABAL DE LES ETAP DEL BERGUEDÀ				
Lloc	Habitants	Demanda d'aigua potable (m <sup>3</sup> /dia)	Demanda d'aigua potable (m <sup>3</sup> /any)	Cabal ETAP (m <sup>3</sup> /any)
CAPOLAT	92	11,59	4.231,08	4.654,19
LA NOU BERGUEDÀ	153	19,28	7.036,47	7.740,12

Font habitants: (48)

La taula 3.58 mostra les dues ETAP les quals no coneixem el seu cabal d'aigua i la seva estimació a partir del consum d'aigua potable a Catalunya.

A continuació en la taula 3.59 es mostra dades de 3 ETAP proporcionades per una altre font d'informació:

Taula 3.59 Dades de les ETAP de Balsareny, Sallent i Berga (Font :Sorea)

DADES ETAP (any 2015)			
Comarca	Lloc	Cabal (m <sup>3</sup> /any)	Consum energètic (kWh/any)
BAGES	BALSARENY	356.208	170.736
	SALLENT	724.320	424.614
BERGUEDÀ	BERGA	303.100*	190.287

\*Cabal provinent del Llobregat, que no és tot el cabal es subministrat a Berga, ja que té captacions de la muntanya (riures i fonts).




A continuació es mostra una taula resum amb totes les dades que s'han mostrat abans resumides:

Taula 3.60 Taula resum de les dades obtingudes de les ETAP del cas d'estudi (Font:Pròpia)

ETAP	CABAL (m <sup>3</sup> /any)	CONSUM ENERGÈTIC (kWh/any)	RATIO (kWh/m <sup>3</sup> )
BALSARENY	356.208	170.736	0,48
SALLENT	724.320	424.614	0,59
BORREDÀ	122.640**	11.810	0,10
CAPOLAT	4.654,19	6.834	1,47
BERGA	303.100*	190.287	0,63
LA NOU BERGUEDÀ	7.740,12	42.100	5,44
MANRESA	7.920.000	-	-

\*\*Cabal extret d'un informe de l'ajuntament de Borredà.

\*Cabal provinent del Llobregat, que no és tot el cabal es subministrat a Berga, ja que té captacions de la muntanya (riures i fonts).

	Dada de cabal real
	Dada d'energia real i dada de cabal estimat .
	Dades de cabal i d'energia reals.

Com podem observar a la taula 3.60, hi ha algunes ETAP les quals no disposem de totes les dades. La impossibilitat de trobar les dades ens ha ocasionat no tenir les dades de consum energètic de Manresa.

Tant l'estació potabilitzadora de Capolat com la de La Nou Berguedà hem hagut d'estimar el cabal que tracten considerant la població que abasteixen. Però hem de tenir en compte que aquestes ETAP poden abastir altres poblacions, per tant, el cabal d'aigua podria ser superior al cabal que hem estimat, ja que només hem considerat la població on està instal·lada l'ETAP.

Berga, segons Sorea té un cabal de 303.100 m<sup>3</sup>/any (Cabal provinent del Llobregat) i un consum energètic de 190.287 kWh/any. Hem de considerar que la part del cabal que prové de la muntanya provocarà un reduït consum d'energia ja que, aquesta aigua li caldrà poc impuls.

Com podem veure en la taula 3.60 tenim les dades de diverses ETAP tant del Bages com del Berguedà amb diferents cabals i diferents consums energètics que dona com a resultat una gran varietat de ratios.

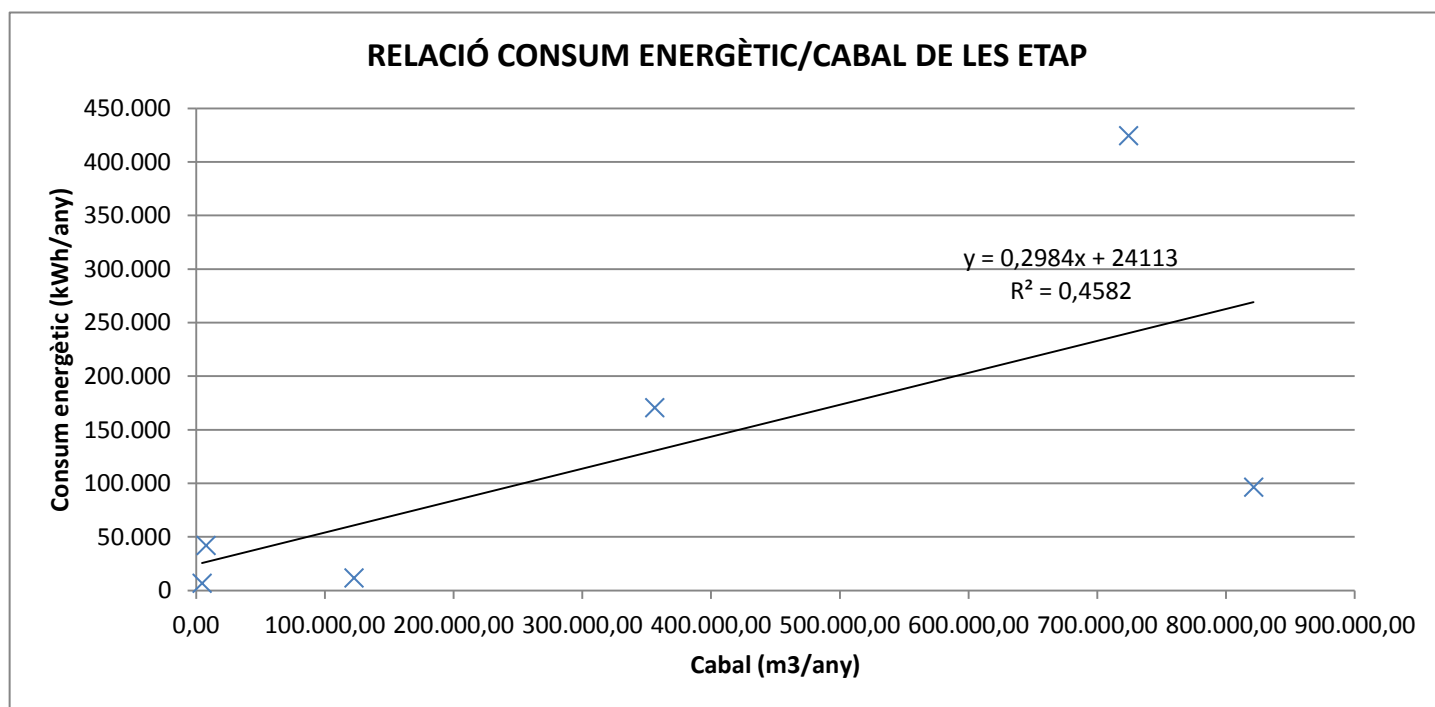
El ratios tenen un elevat rang, des de 0,10 kWh/m<sup>3</sup> que seria un ratio molt favorable, fins a un ratio de 5,44 kWh/m<sup>3</sup> que és molt elevat.

Els ratios ens mostren que no hi ha cap relació lineal entre el cabal d'aigua tractada i l'energia consumida, ja que, per exemple Sallent és segona potabilitzadora que més cabal d'aigua tracta però no és la que té el ratio més elevat, sinó que té el ratio més reduït. La que té el ratio més elevat és La Nou Berguedà, amb un ratio de 5,44 kWh/m<sup>3</sup>, o sigui que per 1m<sup>3</sup> d'aigua tractada es consumeixen 5,44 kWh, un valor elevat. Però no és La Nou de Berguedà qui tracta menys cabal, sinó que és l'estació potabilitzadora de Capolat, i aquesta, té un ratio de 1,47 kWh/m<sup>3</sup>.

Amb aquestes diverses comparacions volem concloure que no hi ha relació lineal entre el cabal i l'energia consumida. En cas de les EDAR el ratio disminueix en funció que augmentàvem el cabal d'aigua tractada, o sigui, les estacions depuradores grans, amb gran capacitat d'aigua, consumeixen menys energia que les EDAR petites.

Aquesta relació entre el cabal i l'energia consumida no apareix en les ETAP, ja que el consum energètic d'aquestes depèn principalment del bombament de l'aigua des de la font d'aigua fins l'ETAP, per tant, el consum depèn de la distància i el desnivell que hi hagi entre l'estació potabilitzadora i la font d'aigua, així com del bombament posterior en la distribució de l'aigua.

Una altre manera de demostrar que aquesta relació lineal no existeix, realitzar un gràfic amb el cabal i el ratio de les ETAP.



**Figura 3.62 Relació entre el consum energètic i el cabal d'aigua tractat de les ETAP del cas d'estudi**  
(Font :Pròpia)

Veiem que la relació lineal, té un coeficient de regressió molt baix, fet que ens indica directament que la relació lineal no és bona.

Per tant, podem concloure que no hi ha una relació directa entre el cabal tractat i l'energia consumida per les ETAP. Com ja havíem dit anteriorment, l'energia consumida per les ETAP depèn principalment de la força que ha de fer la bomba per bombejar l'aigua des de la font d'aigua fins l'estació potabilitzadora i les bombes que impulsen l'aigua des de l'ETAP fins al consumidor. Per tant, l'energia consumida de cada ETAP dependrà d'on estigui situada l'estació potabilitzadora.



A continuació farem diferents gràfics per mostrar les dades de la taula 3.60:

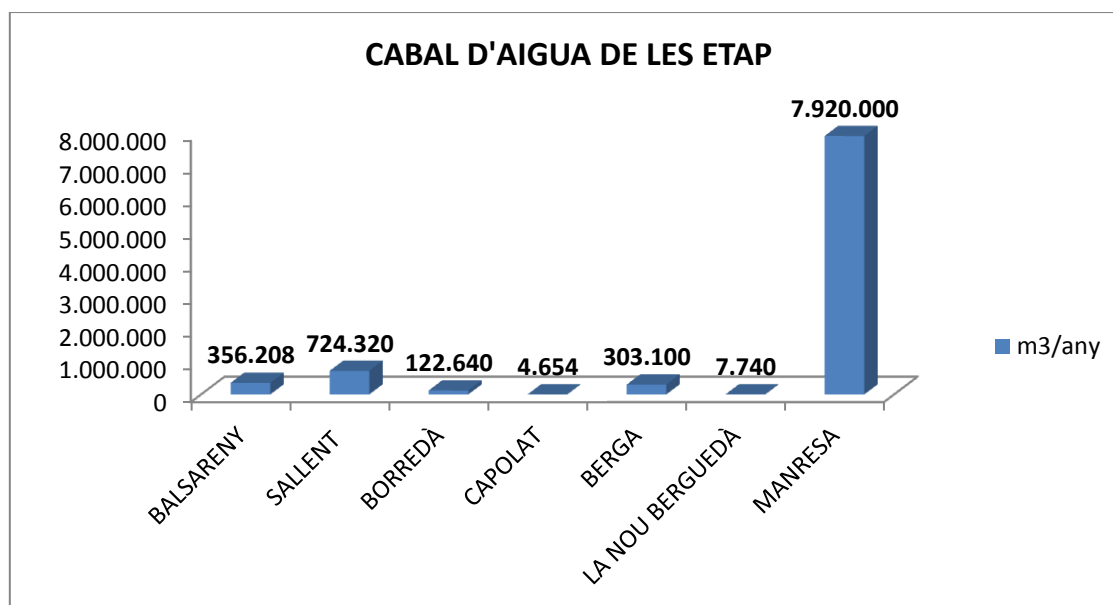


Figura 3.63 Cabal d'aigua tractada de les ETAP del cas d'estudi (Font :Pròpia)

En la figura 3.63 es mostren els cabals de cada ETAP. Podem observar que l'ETAP que més cabal tracta és la de Manresa. En aquesta estació, segons Sorea, el cabal és de 7.920.00 m³/any.

Si comparem Berga, Sallent i Balsareny, veiem que Sallent i Balsareny tracten més cabal tot i que Berga té més habitants que aquestes dues poblacions, això és degut a que el cabal de l'ETAP de Berga, només s'ha considerat el cabal provinent del Llobregat, sense tenir en compte una part d'aigua que prové de les rieres, subsòl, etc.

L'ETAP que menys cabal tracta és l'estació potabilitzadora de Capolat, aquesta població és la que menys habitants té i conseqüentment, és l'ETAP que menys quantitat d'aigua tracta.

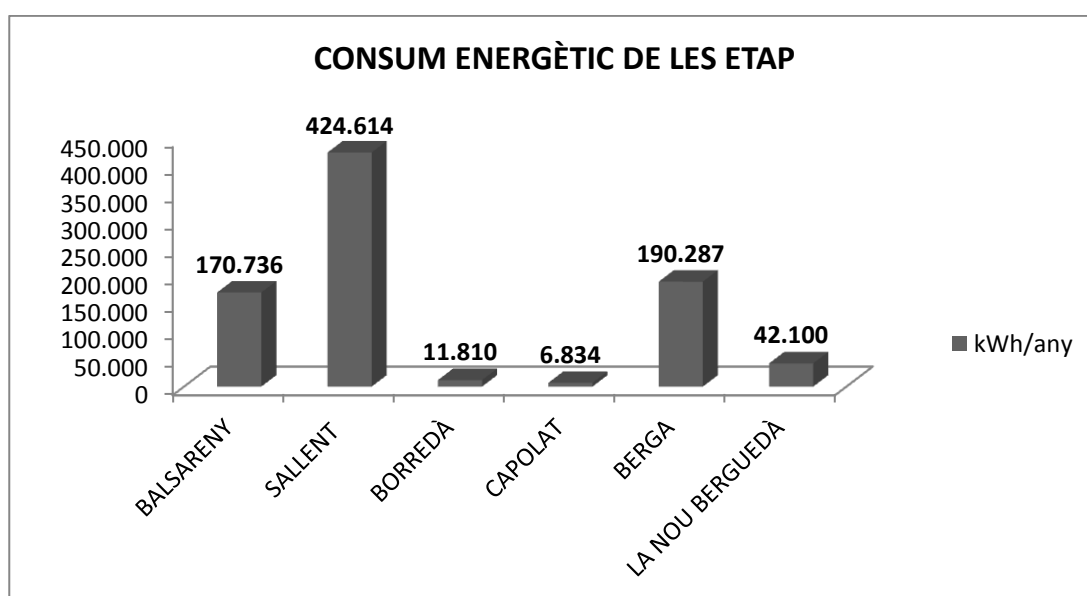


Figura 3.64 Consum energètic de les ETAP del cas d'estudi (Font :Pròpia)

Tal i com mostra la figura 3.64, l'ETAP que més energia consumeix és la de Sallent, que coincideix amb l'estació que més cabal tracta.

La segona ETAP que més energia consumeix és Berga, tot i que tracta menys cabal que Balsareny i aquesta consumeix menys energia. La comparació d'aquestes dues ETAP es pot realitzar comparant els seus ratios. Berga amb un ratio de 0,63 kWh/m<sup>3</sup> i Balsareny amb un ratio de 0,48 kWh/m<sup>3</sup>. Conseqüentment, Berga consumeix més energia tot i que tracta menys cabal.

La que més energia consumeix respecte el cabal que tracta és La Nou Berguedà. Comparant els dos gràfics anteriors, 3.63 i 3.64, es pot demostrar aquesta afirmació, si ens fixem en el gràfic 3.63 el cabal de La Nou Berguedà és molt petit, en el gràfic quasi no es veu, en canvi, si veiem el gràfic 3.64 podem veure que el consum energètic és més elevat, en magnitud que el cabal tractat de la mateixa estació potabilitzadora.

L'ETAP que menys energia consumeix és l'estació de Capolat, amb un consum energètic de 6.834 m<sup>3</sup>/any, també és la que té el cabal d'aigua tractada més reduït, però no és la que té un ratio més reduït, sinó que té un ratio de 1,47 kWh/m<sup>3</sup>, que aquest és el segon ratio més elevat de les 6 ETAP estudiades, cosa que ens confirma que el fet de tractar menys cabal no implica que la relació entre el cabal tractat i l'energia consumida sigui menor.

### 3.4.2 Comparativa entre les EDAR i les ETAP

A continuació compararem les dades de les estacions depuradores i potabilitzadores d'aquelles poblacions que tenim dades:

**Taula 3.61 Comparativa entre l'ETAP i les EDAR de Sallent (Font :Pròpia)**

	CABAL (m <sup>3</sup> /any)	ENERGIA CONSUMIDA (kWh/any)	RATIO (kWh/m <sup>3</sup> )
<b>EDAR SALLENT</b>	832.200	423.341,60	0,51
<b>ETAP SALLENT</b>	724.320	424.614	0,59

Comparant l'estació potabilitzadora i la depuradora de Sallent, podem observar que el ratio és més elevat en el de l'ETAP que no el de l'EDAR, per tant, l'estació potabilitzadora consumeix més energia que l'estació depuradora.

Observem, que els cabals i els consums energètics de ambdues són comparables. Per tant, la estació potabilitzadora per un cabal menor, consumeix pràcticament el mateix que l'estació depuradora de Sallent.

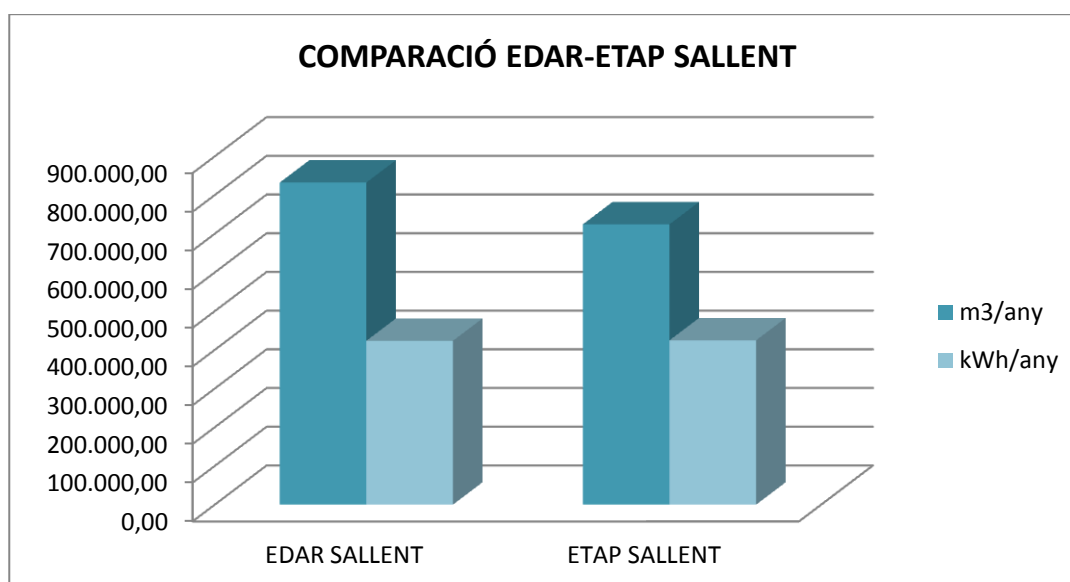


Figura 3.65 Comparativa entre l'energia consumida i cabal tractat entre l'ETAP i l'EDAR de Sallent (Font :Pròpia)

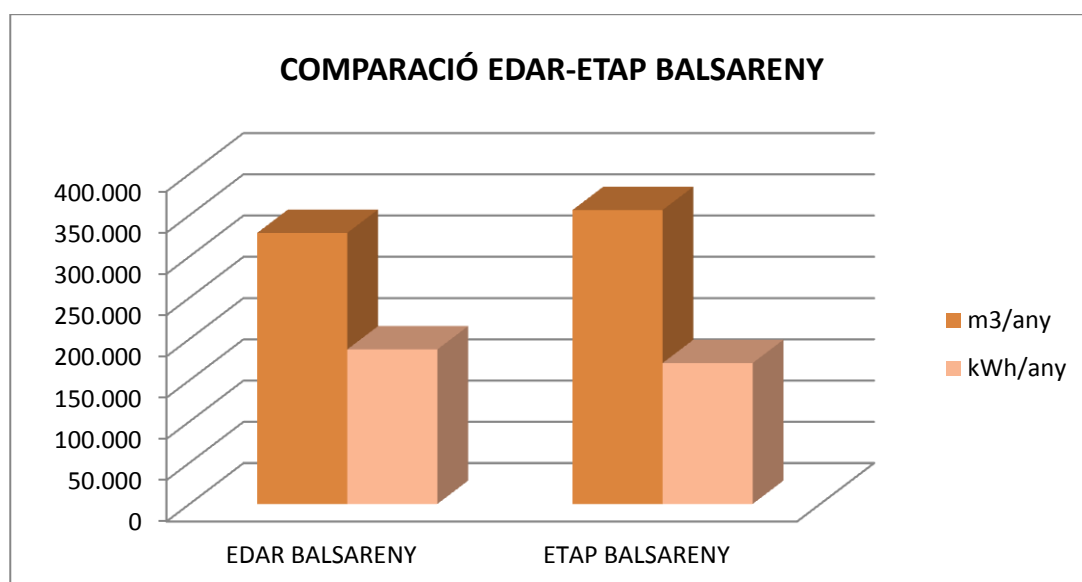
A continuació fem la mateixa comparativa per la població de Balsareny.

Taula 3.62 Comparativa entre l'EDAR i l'ETAP de Balsareny (Font :Pròpia)

	CABAL (m <sup>3</sup> /any)	ENERGIA CONSUMIDA (kWh/any)	RATIO (kWh/m <sup>3</sup> )
<b>EDAR BALSARENY</b>	328.500	187.245	0,57
<b>ETAP BALSARENY</b>	356.208	170.736	0,48

Únicament comparant els ratios, podem observar, que en aquest cas, l'EDAR és la que consumeix més energia en comparació amb l'ETAP.

En aquest cas els cabals de les dues estacions són més similars, el cabal de l'EDAR és un 7,8% més petit que el cabal de l'ETAP. Però els consums energètics disten més que en el cas de Sallent. L'EDAR de Balsareny consumeix un 8,8 % més energia que l'ETAP del mateix municipi.



**Figura 3.66** Comparativa entre l'energia consumida i el cabal tractat de l'EDAR i l'ETAP de Balsareny  
(Font :Pròpia)

En la figura 3.66 es pot veure clarament que l'ETAP de Balsareny, tractant un cabal d'aigua superior, consumeix menys energia.

Segons les dades que tenim no podem concloure que l'EDAR consumeix més energia que l'ETAP o viceversa, ja que en cada cas ens ha donat un resultat diferent.

De fet, aquest resultat és molt lògic, ja que com s'ha dit abans, el consum energètic de les ETAP no segueix cap relació matemàtica. Depèn del consum degut al bombament de l'aigua fins a l'estació potabilitzadora i el bombament de l'aigua fins al consumidor.

### 3.4.3 Consum d'aigua de les ETAP

El consum d'aigua de les estacions potabilitzadores és bàsicament per usos de neteja de filtres i purga de decantadors. El cabal captat per les estacions potabilitzadores és aproximadament un 10% superior al cabal de sortida d'aquestes, per tant aquest 10% és el consum d'aigua de les potabilitzadores.

Si aproximem a un 10% del cabal el consum d'aigua que té cada ETAP, podem fer una taula mostrant el consum d'aigua segons el seu cabal.

**Taula 3.63** Consum d'aigua de les ETAP del cas d'estudi (Font :Sorea)

ETAP (any 2015)			
Lloc	Cabal (m³/any)	Consum d'aigua (m³/any)	Núm. Habitants (any 2015)
BERGA	303.100*	30.310	16.238
BALSARENY	356.208	35.620,8	3.324

<b>SALIENT</b>	724.320	72.432	6.669
<b>BORREDÀ</b>	122.640**	12.264	503
<b>CAPOLAT</b>	4.654,19	465,42	92
<b>LA NOU BERGUEDÀ</b>	7.740,12	774,01	153

\*\*Cabal extret d'un informe de l'ajuntament de Borredà.

\*Cabal provinent del Llobregat, que no és tot el cabal es subministrat a Berga, ja que té captacions de la muntanya (riures i fonts).

Taula 3.64 Cabal i consum d'aigua de l'ETAP de Manresa (Font :Aigües Manresa)

ETAP	Cabal (m <sup>3</sup> /dia)	Cabal (m <sup>3</sup> /any)	Consum d'aigua (m <sup>3</sup> /any)
<b>MANRESA</b>	22.000	7.920.000	792.000

El cabal d'aigua de Manresa un valor és real obtingut per Aigües de Manresa, i té un valor de 22.000 m<sup>3</sup>/dia. A la taula 3.64, es mostra el cabal real diari, el cabal real anual, i el consum d'aigua anual. Aquest calculat a partir del 10% del cabal d'aigua.

Per tal de demostrar l'estimació de cabal realitzada en la taula 3.58 de les ETAP de Capolat i La Nou Berguedà, calcularem el cabal d'aigua estimat de Manresa utilitzant el coeficient de 126 L/hab·dia, i aplicant un 10% de més per les pèrdues, que és la mateixa tècnica que hem aplicat en els casos de Capolat i La Nou Berguedà. Finalment, el cabal estimat el compararem amb el real, per tal de veure si aquests dos disten molt.

$$74.655 \text{ habitants Manresa} \cdot \frac{126 \text{ l}}{\text{hab} \cdot \text{dia}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 9.406,53 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$9.406,53 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} + 10\% = 10.347,18 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Segons els nostres càlculs Manresa hauria de tenir un cabal de 10.347,18 m<sup>3</sup>/dia per abastir la demanda d'aigua potable de Manresa, però realment té un cabal de 22.000 m<sup>3</sup>/dia.

Això és degut a que l'ETAP situada a Manresa no només abasteix aigua potable a Manresa sinó que també ho fa a : Calaf, Sant Fruitós de Bages, Pineda de Bages, Santpedor i Navarcles. Això vol dir que per aquestes poblacions l'ETAP de Manresa reparteix 11.653 m<sup>3</sup>/dia, que és el cabal que falta per arribar al cabal real.

Aquest fet demostra que per calcular els consums energètics reals de les ETAP farà falta un treball molt més exhaustiu.

### 3.4.4 Energia total consumida ETAP cas d'estudi

A continuació es mostra el sumatori d'energia consumida i de cabal de les ETAP del cas d'estudi expressades en m<sup>3</sup>/dia i en kWh/dia, per tal de poder-les comparar amb les dades de les EDAR. En el sumatori no hem contemplat l'estació de Manresa, ja que d'aquesta ETAP nomès coneixem el cabal d'aigua tractada.

**Taula 3.65 Sumatori de cabal tractat i energia consumida de les ETAP del cas d'estudi (Font :Pròpia)**

SUMATORI DE CABAL I ENERGIA CONSUMIDA DE TOTES LES ETAP DEL CAS D'ESTUDI.	
$\sum \text{Cabal}$ (m <sup>3</sup> /dia)	$\sum \text{Energia consumida}$ (kWh/dia)
<b>4.160,72</b>	<b>2.319</b>

El resultat del estudi de les 6 ETAP que disposem de dades de cabal i energia és que suposen un consum energètic total de 2.319 kWh/dia tractant un cabal de 4.160,72 m<sup>3</sup>/dia.

Hem de tenir en compte que dins del cas d'estudi hi ha contemplades un total de 19 poblacions amb un total de 21 estacions potabilitzadores instal·lades, de les quals únicament hem aconseguit dades reals de consum energètic de 6. Per tant, no podem assegurar que en aquest tram del riu Llobregat estudiat les estacions potabilitzadores consumeixen 2.319 kWh/dia sinó que sabem que el consum energètic degut a les ETAP serà superior en aquest tram.

## 4. RESULTATS

En aquest apartat mostrarem els valors finals d'energia consumida i d'energia generada explicats en els apartats anteriors:

**Taula 4.1 Resum dels resultats finals (Font :Pròpia)**

RESUM DELS RESULTATS FINALS		
ENERGIA GENERADA PER LES MINI-HIDROELÈCTRIQUES (KWh/dia)	ENERGIA CONSUMIDA PER 22 EDAR (KWh/dia)	ENERGIA CONSUMIDA PER 6 ETAP (KWh/dia)
146.683	21.800,96	2.319

Com podem veure a la taula 4.1, el valor d'energia consumida per les ETAP que hem pogut aconseguir és pràcticament menyspreable comparant-lo amb l'energia consumida de les EDAR del cas d'estudi. Atesa a la dificultat d'obtenir dades reals de les ETAP, es farà la comparació entre el consum d'energia per produir aigua, i l'energia generada per l'aigua en les mini-hidroelèctriques a dos nivells:

- ✓ Només tenint en compte el consum energètic de les EDAR
- ✓ Tenint en compte que vist el cas de Balsareny i Sallent (veure taules 3.61 i 3.62) el consum de les ETAP és bastant semblant al de les EDAR.

**CAS A)** Només tenint en compte el consum energètic de les EDAR

En aquest cas estem menyspreant el consum energètic de les ETAP, ja que no es comparable amb el de les EDAR. Conseqüentment farem l'avaluació energètica del tram del Llobregat considerant les dades següents:

**Taula 4.2 Resultats finals en el cas A (Font:Pròpia)**

RESULTATS FINALS EN EL CAS A	
ENERGIA GENERADA PER LES MINI-HIDROELÈCTRIQUES (kWh/dia)	ENERGIA CONSUMIDA PER 22 EDAR (kWh/dia)
146.683	21.800,96

Com podem observar a la taula anterior l'energia generada per les centrals mini-hidroelèctriques és d'un ordre major que l'energia consumida per les 22 EDAR estudiades. Exactament, l'energia consumida per les estacions depuradores estudiades suposa un 14,86% de l'energia generada.

A continuació fem un gràfic de les dades de la taula 4.2:

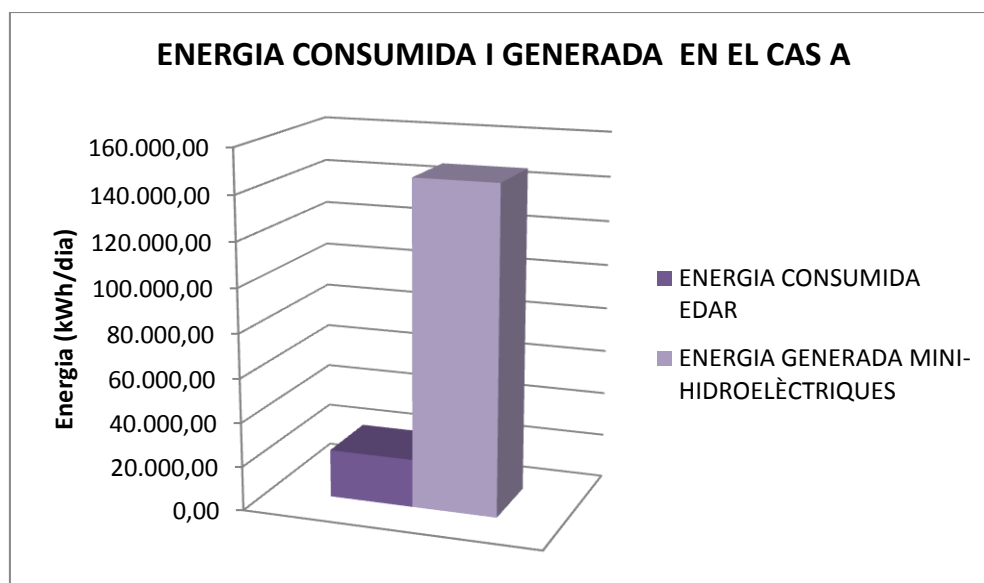


Figura 4.1 Energia consumida i generada en el cas A (Font :Pròpia)

Tal i com podem veure en la figura 4.1 l'energia generada és d'una magnitud força superior que l'energia consumida.

Per tant, l'avaluació d'energia en aquest cas és positiva, o sigui, es genera més energia que no pas es consumeix en aquest tram del riu Llobregat.

**CAS B)** Considerant que el consum de les ETAP és el mateix que el de les EDAR.

La previsió que teníem sobre el consum de les ETAP i de les EDAR era que el consum energètic de les EDAR hauria de ser superior, però després de comparar dues ETAP i dues EDAR, les de Balsareny i Sallent (veure taules 3.61 i 3.62) hem pogut comprovar que tenen consums comparables.

En aquest cas farem una estimació avaluant el pitjor cas possible, que totes les ETAP consumeixin el mateix que les EDAR de la mateixa població.

Per tant, tornem a cercar el llistat d'ETAP que hi ha en el tram del cas d'estudi i suposarem que cadascuna d'aquestes consumeix exactament el mateix que l'EDAR que està instal·lada en la mateixa població.


Suposant aquest consum energètic estem considerant el pitjor escenari possible, ja que les EDAR haurien de tenir un consum energètic superior que el consum energètic de les ETAP, i en canvi, en aquest cas, aquests dos consums energètics els estem igualant.


A continuació mostrarem una taula on apareixen el llistat de 19 poblacions que tenen instal·lades ETAP que hi ha en el tram del cas d'estudi (veure taula 3.54) amb el consum energètic que correspon a les EDAR que hi ha en la mateixa població.





Taula 4.3 Estimació consum energètic de les ETAP en el cas B (Font :Pròpia)

ESTIMACIÓ CONSUM ENERGÈTIC DE LES ETAP EN EL CAS B		
COMARCA	ETAP	CONSUM ENERGÈTIC EDAR (kWh/dia)
BERGUEDÀ	AVIÀ	
	CASTELLAR DE N'HUG	77,03
	CASSERRES	160,32
	BAGÀ/GUARDIOLA BERGUEDÀ	603,64
	LA POBLA DE LILLET	200,73
	LA NOU DE BERGUEDÀ	67,05
	BORREDÀ	
	CERCS	186,28
	BERGA	1.630,36
	CAPOLAT	
BAGES	MONTMAJOR	52,95
	GIRONELLA	508,19
	PUIG REIG	351,70
	CARDONA	484,19
	NAVÀS	727,01
	NAVARCLES	2559,8
	SALLENT	1.159,84
	BALSARENY	513
	MANRESA	11.332,89
$\sum \text{Energia consumida estimada} = 20.614,98 \text{ kWh/dia}$		

 Dades extretes de l a taula 3.29 pàg.156

 Dades extretes de l a taula 3.28 pàg.155

 Dades extretes de l a taula 3.42 pàg.168

 Dades extretes de l a taula 3.47 pàg.171

Avià, Borredà i Capolat són petites poblacions que no disposen d'estació depuradora, per tant, en l'estimació d'energia consumida de les ETAP no contemplarem aquestes dues poblacions.

Per tant, amb aquesta estimació ens queden els següents resultats:

Taula 4.4 Resultats finals del cas B (Font :Pròpia)

RESULTATS FINALS DEL CAS B		
ENERGIA GENERADA PER LES MINI-HIDROELÈCTRIQUES (kWh/dia)	ENERGIA CONSUMIDA PER 22 EDAR (kWh/dia)	ENERGIA CONSUMIDA PER 19 POBLACIONS AMB ETAP (kWh/dia)
146.683	21.800,96	20.614,98

Per tant, el consum total d'energia serà el sumatori entre el consum energètic de les EDAR i de les ETAP.

Taula 4.5 Resum resultats finals en el cas B (Font :Pròpia)

RESUM RESULTATS FINALS EN EL CAS B	
ENERGIA GENERADA PER LES MINI- HIDROELÈCTRIQUES (kWh/dia)	ENERGIA CONSUMIDA EDAR + ETAP (kWh/dia)
146.683	42.415,94

Amb els resultats mostrats en la taula 4.5 podem observar que es consumeix un 28,92% de l'energia que es genera. A continuació es fa un gràfic de les dades que apareixen en la taula 4.5.

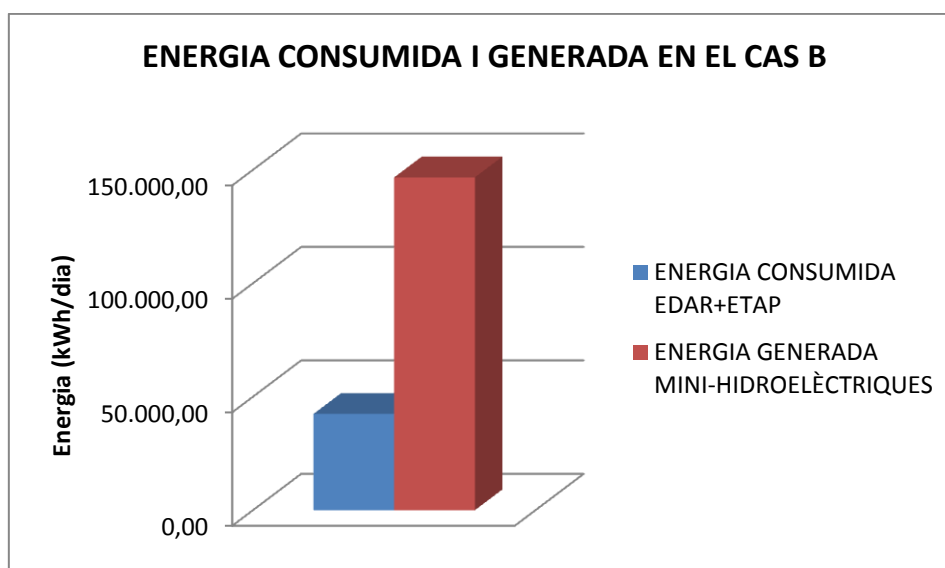


Figura 4.2 Energia consumida i generada en el cas B (Font :Pròpia)

Com podem veure tot i que en aquest cas hem contemplat el pitjor escenari possible de consum energètic, l'avaluació energètica continua sent positiva, o sigui, es genera més energia que no pas que es consumeix en el tram del Llobregat estudiat.

## 5. CONCLUSIONS

Gràcies a aquest treball hem pogut observar el nexe aigua energia en diferents nivells. S'ha prèns consciència de la forta interrelació que hi ha entre l'aigua i l'energia.

En el cas d'estudi s'ha observat un cas real d'aquest nexe i hem pogut estudiar-lo en profunditat.

Com s'ha vist amb anterioritat, hem considerat que les 34 mini-hidroelèctriques del nostre cas d'estudi treballaven a un 46,2% de la seva capacitat, però hem de ser conscients de que algunes centrals treballaran per sobre d'aquest percentatge i d'altres per sota. Tenim en compte que aquest percentatge ens suposa un cert error. També hem pogut comprovar que les centrals mini-hidroelèctriques que més energia generen són les centrals mini-hidroelèctriques del Berguedà. Un altre fet que hem pogut observar de les centrals mini-hidroelèctriques estudiades és la necessitat d'aquestes d'elevades quantitats d'aigua per produir energia, fet que es pot observar clarament en el ratio promig obtingut  $0,009 \text{ kWh/m}^3$ . S'ha de tenir però en compte que aquesta aigua no es consumeix ja que es retorna al riu.

De les 32 EDAR del ca d'estudi un 54% d'aquestes utilitzen tractament biològic i un 71% utilitzen fangs activats. L'EDAR que més cabal tracta del cas d'estudi és Manresa i la més petita és l'EDAR de Montmajor. Hem comprovat en la taula 3.21 que les EDAR del cas d'estudi respecte al cabal d'aigua tractada treballen a un 60% de la seva capacitat.

A partir de les dades reals obtingudes d'aquelles EDAR que utilitzen fangs activats hem aconseguit una relació lineal que relaciona el consum energètic amb el cabal d'aigua tractat. Aquesta relació l'hem utilitzat per calcular el consum energètic de les EDAR que utilitzaven fangs activats les quals no disposaven de les seves dades. Com a resultat de les EDAR que utilitzen fangs activats tenim que els ratios oscil·len entre 0,32 i  $1,30 \text{ kWh/m}^3$ , i la mitja d'aquests és de  $0,68 \text{ kWh/m}^3$ . Dels ratios de les EDAR hem pogut observar una tendència, que es basa en què quan una EDAR tracta més cabal d'aigua té un ratio més reduït i quan són EDAR amb poc cabal d'aigua tractat el ratio és superior, aquest fet es pot observar en la figura 3.5.

Les EDAR que utilitzen la tècnica de filtres percoladors tenen un ratio entre 0,57 i  $0,59 \text{ kWh/m}^3$ . Esperàvem que aquest tipus d'EDAR consumirien menys energia que les de fangs activats, i els resultats obtinguts no han sigut aquest. Però hem de ser conscients que no podem observar una tendència energètica d'aquest tipus d'EDAR només observant el consum de 3 ETAP que són les que utilitzen filtres percoladors del nostre cas d'estudi.

Estem en el mateix cas en les EDAR que utilitzen la tècnica de Biodisc. Del nostre cas d'estudi únicament tenim 2 EDAR que utilitzin Biodisc, a més que d'aquestes no hem obtingut dades reals i hem hagut d'aproximar el consum energètic d'aquestes a partir de la relació obtinguda en les EDAR que utilitzaven fangs activats, aquest fet suposava un cert error. El resultat d'aquestes 2 EDAR són un ratios de 1,40 i  $2,76 \text{ kWh/m}^3$ , ratios molt elevats que podem justificar-ho amb el fet de que les EDAR són molt petites.

Pel que fa a les ETAP del cas d'estudi, únicament hem aconseguit dades reals de consums energètics de 6 ETAP d'un total de 21. Amb aquestes dades hem demostrat que no hi ha relació lineal entre el consum energètic i el cabal tractat per les ETAP, això demostra que el consum energètic de les ETAP no depèn de la quantitat de cabal d'aigua que tracta, sinó d'altres paràmetres que es basen principalment en el bombament de l'aigua, tant per la captació com per a la distribució.

Malgrat les dificultats de l'obtenció de dades de consums energètics de les ETAP finalment, hem aconseguit estimar aquest consum a partir de la comparació entre les ETAP i EDAR de les mateixes poblacions les quals teníem dades reals. Aquesta comparació es pot observar en l'apartat 3.4.2 i mostra que les EDAR i les ETAP comparades tenen consums energètics similars. Dir que en les ETAP no hi ha una ratio com en les EDAR ja que el consum energètic és variable, segons el lloc on està ubicada l'ETAP.

Considerem que s'hauria de realitzar un treball molt més exhaustiu per trobar el consum energètic real de les ETAP del cas d'estudi.

A partir dels resultats obtinguts en el cas d'estudi, comparant l'energia necessària per a les EDAR i ETAP, amb l'energia produïda en les mini-hidroelèctriques, podem concloure que tot i contemplant el pitjor dels casos de consums energètics possibles, el balanç energètic és positiu: únicament es consumeix un 28,92% de l'energia que es genera en aquest cas.

Per tant podem afirmar que en el tram del riu Llobregat estudiat, des de Castellar de N'hug fins a Manresa, tenint el compte el consum energètic de les ETAP i de les EDAR i la producció energètica de les centrals mini-hidroelèctriques, es produeix més energia que no pas la que es consumeix.

## 6. REFERÈNCIES

- (1) U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2006).Energy Demands on Water Resources Report To Congress on the Interdependency of Energy and Water. A: *Power*. p. 1-80.
- (2) Carlton, J.T, Parker, I.M., et al.(2014) Water and Energy the United Nations World Water Development Report. ISBN 9789231042591.
- (3) Agua y Saneamientos Argentinos S.A. PROCESO DE POTABILIZACIÓN. A: [en línia]. 2005. Disponible a: [http://www.aysa.com.ar/index.php?id\\_seccion=657](http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=657).
- (4) AIGÜES DE MANRESA S.A (Empresa municipal). AGUA POTABLE. A: [en línia]. Disponible a: <http://www.aiguesmanresa.cat/es/nivells/contingut/titular/aigua-potable>
- (5) Atmosferis. TRATAMIENTO DE AGUAS. A: [en línia]. 2011. Disponible a: <http://www.atmosferis.com/tratamiento-de-aguas-clarificacion-parte-1/>.
- (6) DRYDEN AQUA TECHNOLOGY. AGUA POTABLE: FILTRACIÓN. A: [en línia]. 2014. Disponible a: <http://www.elaguapotable.com/filtracion.htm>.
- (7) MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. PRETRATAMIENTO. A: [en línia]. 2004. Disponible a:  
<http://www.miliarium.com/Proyectos/Depuradoras/tratamientos/convencionales/pretratamiento/menu1.asp#TIPOS DE REJILLAS>.
- (8) AGUAS DEL MARE NOSTRUM. Tamiz estatico. Pretratamiento Aguas Residuales. Tamices estaticos. A: [en línia]. 2007. Disponible a: <http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/tamiz-estatico-pretratamientos.html>.
- (9) HIDRO METÁLICA. DECANTADORES. A: [en línia]. 2013. Disponible a: <http://hidrometalica.com/304/>.
- (10) ISA. TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE AGUAS, UN DERECHO DE TODA LA POBLACIÓN. A: [en línia]. 2015. Disponible a: <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/latest>.
- (11) SOLUAQUA. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO AGUA MUNICIPALES. A: [en línia]. 2005. Disponible a: <http://www.soluaqua.com/#!services2/c14x>
- (12)Tejero, I., Suárez,J.,Jácome,A.,Temprano,J.(2012). Introducción a la ingeniería sanitaria ambiental.Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Primera Edició. Universidad Coruña y Universidad de Cantabria.

- (13) Lazarova, V., Choo, K., Cornel, P. *WATER-ENERGY INTERACTIONS IN WATER REUSE*. 1ª edició. Londres: IWA Publishing, 2012. ISBN:9781843395416
- (14) Bi, C. et al. (2015) Process development for scum to biodiesel conversion. A: *Bioresource Technology* Vol. 185, p. 185-193. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2015.01.081.
- (15) Iagua. Veolia inaugura en Hong Kong la mayor planta de tratamiento y recuperación de lodos del mundo. A: [en línea]. 2016. Disponible a: <http://www.iagua.es/noticias/hong-kong/veolia-water-technologies/16/06/02/veolia-inaugura-hong-kong-mayor-planta>.
- (16) Céspedes, A.M.D.E. et al. (2012) APROVECHAMIENTO RESIDUAL TRATADA DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DEL BARRIO DE BUENOS AIRES, SANTA CRUZ DE TENERIFE
- (17) Maestru, J. Gómez, C. (2015) AGUA Y ENERGÍA. p. 110.
- (18) UPC. Intercambiador de calor coraza y tubos 1-2. A: [en línea]. 2005. Disponible a: [http://www.epsem.upc.edu/intercanviadorsdec calor/castella/flash/3\\_coraza\\_y\\_tubos\\_1\\_2.swf](http://www.epsem.upc.edu/intercanviadorsdec calor/castella/flash/3_coraza_y_tubos_1_2.swf).
- (19) IEA. (2012) Water for Energy: Is energy becoming a thirstier resource? *World Energy Outlook*. p. 1-33.
- (20) Eurostat. (2016) Share of renewables in energy consumption in the EU rose further to 16% in 2014.
- (21) Eurostat. share of renewable energy in gross final energy consumption. A: [en línea]. 2016. Disponible a: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy>.
- (22) Eurostat. RENEWABLES EU28 GROSS INLAND CONSUMPTION. A: [en línea]. 2016. Disponible a: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:RENEWABLES-EU28-GROSS-INLAND-CONSUMPTION-2014.png#filehistory>.
- (23) IDAE. (2006) Manuales de Energías Renovables 6: Minicentrales Hidroeléctricas. A: *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. p. 180.
- (24) Torcellini, P., Long, N., & Judkoff, R. (2003). Consumptive Water Use for U.S. Power Production, National Renewable Energy Laboratory, Golden, United States.
- (25) Asociación de Productores de Energías Renovables (2011). Impactos ambientales de la producción de electricidad. p. 42.

- (26)EIA (2012), Golden Rules for a Golden Age of Gas: World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas, OECD/IEA, Paris.
- (27) THE WORLD BANK.(2015) THIRSTY ENERGY.
- (28) Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad. (2003) Capitulo 4. Torres de refrigeración y condensadores evaporativos. A: *Guía técnica para la Prevención y Control de la Legionelosis en instalaciones*. p. 7-10.
- (29)IDAE. (2007). *Guía técnica: torres de refrigeración*. ISBN 9788496680098.
- (30) Notícies 324. (2011). La tèrmica de Cercs tanca després de 40 anys.
- (31)USNRC (2008) Generci Environmental Impact Statement for License Renewal of Nuclear Plants, NUREG-1437, Supplement 34 Regarding Vogtle Electric Generating Plant, Units 1 and 2
- (32)Mekonnen, M.M.and A.Y. Hoekstra. (2012) The blue water footprint of electricity from hidropower,Hidrology and Earth System Sciences, 16 pp.176-187
- (33)Ecoenergies Barcelona. Red Biomassa. A: [en línia]. 2011. Disponible a: <http://www.ecoenergies.cat/es/quienes-somos/actividad/>.
- (34) Agencia Andaluza de la Energía CONSEJERÍA DE EMPLEO, E.Y.C. Climatización en distritos con energías renovables. A: [en línia]. 2011. Disponible a: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/climatizacion-en-distritos-con-energias-renovables>.
- (35)Zantia. Caldera de biomasa industrial. A: [en línia]. 2016. Disponible a: <http://www.archiexpo.es/prod/zantia/product-124257-1510663.html>.
- (36)Generalitat de Catalunya. Estratègia per promoure l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i agrícola. A: . 2014, p. 106.
- (37)Sánchez i Campoy, E. (2001) Desenvolupament i Avaluació d'un Model d'Escolament de Fusió i Acumulació de Neu Especialment Distribuït.
- (38)ACA. DADES DELS EMBASSAMENTS DE CATALUNYA. A: [en línia]. 2016. Disponible a: <http://aca-web.gencat.cat/sentilo-catalog-web/component/map#>.
- (39)ACA. L'AIGUA EN TEMPS REAL. A: [en línia]. 2011. Disponible a: [http://aca-web.gencat.cat/aetr/UII/aetr\\_app?TAB=dades#](http://aca-web.gencat.cat/aetr/UII/aetr_app?TAB=dades#).
- (40) ACA.(2008) EL AGUA EN CATALUNYA. p. 1955.

- (41) Ferrer, L., Piñero, J., Serra, R. *El Llobregat, nervi de Catalunya*. Manresa: Angle Editorial, 2008. ISBN:84-88811-22-5
- (42) Castellví, J.A.P.(1983) Aprofitament de salts fluvials petits per a l'obtenció d'energia elèctrica a Catalunya. A: *Universitat de Barcelona*.
- (43) Magrama.(2003) Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Manual de interpretación y elaboración de informes. p. 133.
- (44) NacióBerguedà.(2016). L'ACA es compromet a tirar endavant la depuradora d'Avià a principis d'aquest 2016 | NacióBerguedà.
- (45) Mateos, F., & Rodríguez, S. (2012). Estudio de Prospectiva Consumo Energético en el sector del agua. *Ministerio de Industria, Energía Y Turismo, Fundación Escuela de Organización Industrial*.
- (46) 1. Tobergte, D.R. i Curtis, S. (2013) Borredà posa en marxa una estació potabilitzadora. A: *AJUNTAMENT DE BORREDÀ*. Vol. 53, núm. 9, p. 1689-1699. ISSN 1098-6596. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
- (47) Instituto Nacional de Estadística. (2014). *Encuesta Sobre El Suministro Y Saneamiento Del Agua*, p. 8.
- (48) Generalitat de Catalunya. Dades de població per comarques. A: [en línia]. Disponible a: <http://www.idescat.cat/>.